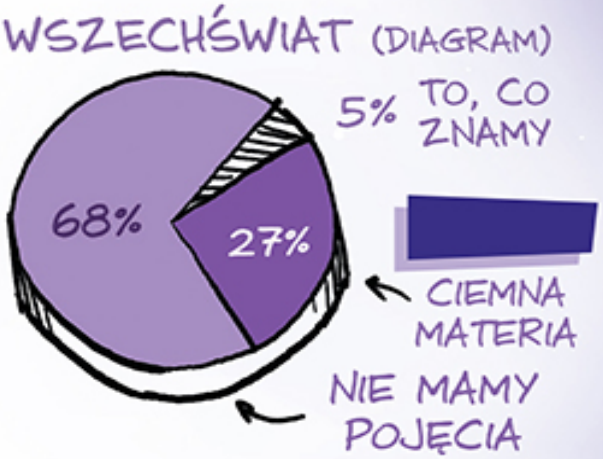
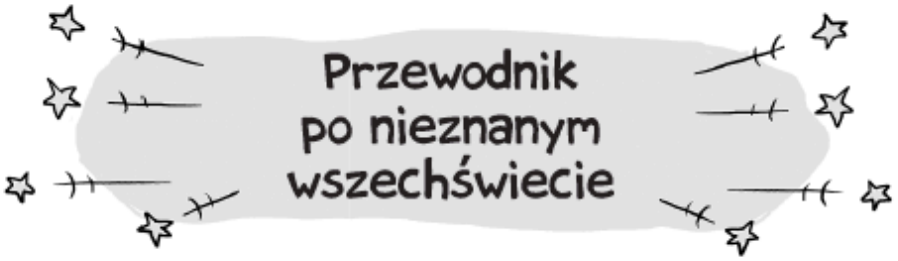
JORGE CHAM & DANIEL WHITESON

NIE MAMY POJĘCIA



PRZEWODNIK PO NIEZNANYM WSZECHŚWIECIE

NIE MAMY POJĘCIA



Jorge Cham
oraz
Daniel Whiteson

przekład
Michał Romanek

insignis

Tytuł oryginału
We Have No Idea. A Guide to the Unknown Universe

Copyright © 2017 by Jorge Cham and Daniel Whiteson

First published 2017 by Riverhead Books
An imprint of Penguin Random House LLC,
375 Hudson Street, New York, New York 10014

All rights reserved.

Przekład z języka angielskiego © Michał Romanek

Adaptacja językowa rysunków na stronach 122, 180, 181 i 164 (dół)
Tomasz Brzozowski

Redakcja
Tomasz Brzozowski, Maria Brzozowska

Korekta
Julia Diduch, Marcin Piątek

Skład, polska wersja okładki i opracowanie ilustracji
Tomasz Brzozowski

Projekt oryginalnego wydania książki
Gretchen Achilles

Projekt oryginalnej okładki
Jorge Cham

Copyright © for this edition
Insignis Media, Kraków 2017. Wszelkie prawa zastrzeżone.

ISBN 978-83-65743-67-1

Insignis Media
ul. Lubicz17D/21–22, 31-503 Kraków
tel. +48 (12) 636 01 90
biuro@insignis.pl, www.insignis.pl
facebook.com/Wydawnictwo.Insignis
twitter.com/insignis_media (@insignis_media)
instagram.com/insignis_media (@insignis_media)
Snapchat: insignis_media

Mojej córce Elinor.
J.C.

Mojej rodzinie, która mnie wspiera w każdym rozdziale mojego życia,
nawet kiedy zdarza mi się sadzić same suchary.
D.W.

Wprowadzenie

Chciałbyś wiedzieć, jak powstał wszechświat, z czego się składa i jak się skończy? Zrozumieć, skąd się wzięły czas i przestrzeń? Dowiedzieć się, czy jesteśmy sami we wszechświecie?

To fatalnie! Bo w tej książce nie odpowiadamy na żadne z tych pytań.

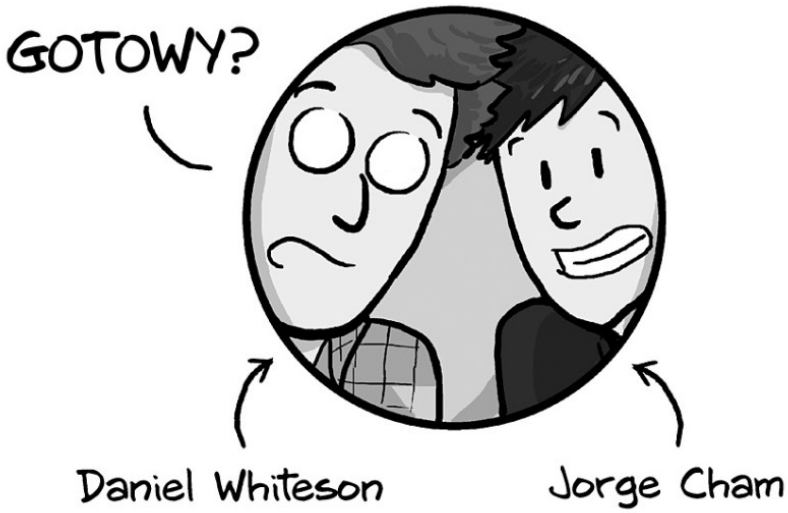
Przeczytasz w niej za to o wszystkim, czego o wszechświecie nie wiemy: dowiesz się o istnieniu zasadniczych pytań, na które – jak mogłoby ci się wydawać – ludzkość znalazła już odpowiedź, choć wcale tak nie jest.

Często słyszymy w wiadomościach, że dokonano jakiegoś doniosłego odkrycia, które wyjaśnia taką czy inną zawiłą zagadkę naszego wszechświata. Ale ilu ludzi słyszało o niej wcześniej, zanim dowiedzieli się, jakie jest jej rozwiązanie? I ile takich fundamentalnych pytań ciągle pozostaje bez odpowiedzi? Właśnie po to napisaliśmy tę książkę: żeby zapoznać cię z tymi otwartymi zagadnieniami.

Na kolejnych stronach będziemy przestawiać najważniejsze pytania o wszechświat, na które brakuje nam odpowiedzi, i objaśniać, dlaczego wciąż pozostają zagadką. Po skończonej lekturze będziesz lepiej rozumieć, dlaczego pogląd, że mamy jakiekolwiek pojęcie, o co w tym wszystkim chodzi albo w jaki sposób tak naprawdę funkcjonuje wszechświat, jest po prostu absurdalny. Z pozytywów: będziesz mieć przynajmniej jakieś pojęcie, dlaczego nie mamy pojęcia.

Napisaliśmy tę książkę nie po to, żeby zasmucać cię tym, czego nie wiemy, ale po to, byś mógł poczuć to radosne podniecenie na myśl, jak niewiarygodnie wiele jest jeszcze nieznanych terytoriów do zbadania. Przy omawianiu każdej nierozwikłanej tajemnicy kosmosu będziemy też pokazywać, co jej rozwiązanie może oznaczać dla ludzkości oraz jakie fantastyczne niespodzianki mogą się skrywać w każdej niewiadomej. Nauczymy cię patrzeć na świat w inny sposób: dzięki świadomości braków w naszej wiedzy możemy dostrzec, że przyszłość wciąż pełna jest niesamowitych możliwości.

Dlatego zapnij pasy, usiądź wygodnie i przygotuj się na penetrowanie głębin naszej ignorancji, bo pierwszym krokiem do każdego odkrycia jest wiedzieć, czego się nie wie. Za chwilę ruszamy w podróż przez największe tajemnice wszechświata.


GOTOWY?
Daniel Whiteson
Jorge Cham

Dokument chroniony elektronicznym znakiem wodnym

Zakupione w nexto: 2554243

1

Z czego składa się wszechświat?

Wiedz, że jesteś dziwny i wyjątkowy

Jeśli jesteś człowiekiem (póki co będziemy tak zakładać), to pewnie trochę cię ciekawi, jak to jest z tym wszystkim, co nas otacza. Bez tej ciekawości

świata nie byłbyś człowiekiem, bez tej ciekawości nie sięgnąłbyś po tę książkę.

To nic nowego. Od zarania dziejów ludzie szukali odpowiedzi na fundamentalne i ważkie pytania dotyczące świata wokół nich:

Z czego składa się wszechświat?
Czy duże kamienie składają się z mniejszych?
Dlaczego nie możemy jeść kamieni?
Jak to jest być nietoperzem?[1]

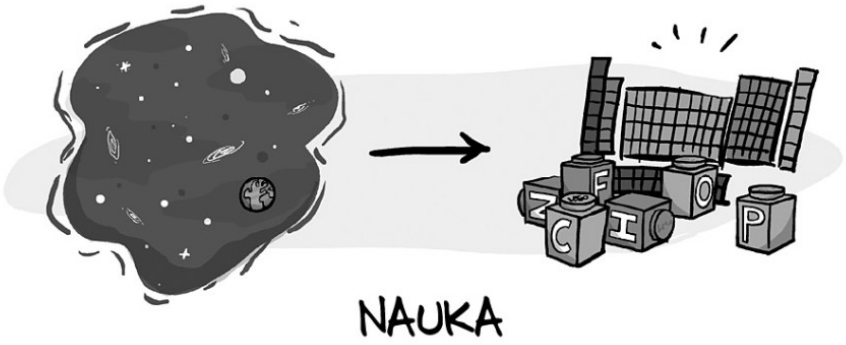
Pierwsze z tych pytań to naprawdę szerokie zagadnienie. Szerokie nie tylko ze względu na temat, z którym się wiąże (trudno o coś szerszego niż wszechświat), ale też dlatego, że dotyczy każdego. Jest trochę podobne do pytania, z czego składa się twój dom i wszystko, co się w nim znajduje (w tym również ty sam). Nie trzeba dogłębnej wiedzy z matematyki czy fizyki, by zrozumieć, że pytanie to dotyczy każdego z nas bez wyjątku.

Załóżmy, że jesteś pierwszym człowiekiem w dziejach, który próbuje odpowiedzieć na pytanie: „Z czego składa się wszechświat?”. Dobrym pomysłem byłoby zacząć na próbę od najprostszego, najbardziej naiwnego wytłumaczenia. Mógłbyś na przykład stwierdzić, że wszechświat składa się z tego, co w nim widzimy, odpowiedziałbyś więc na to pytanie, robiąc spis tych rzeczy. Taka lista mogłaby się zaczynać jakoś tak:

Ale z takim pomysłem wiążą się spore problemy. Przede wszystkim twoja lista będzie bardzo, bardzo długa. Musi się na niej znaleźć każdy kamień na każdej planecie we wszechświecie, a także sama ta lista (ona też jest częścią wszechświata). Jeśli zechcesz, żeby twój spis obejmował zarówno przedmioty, jak i to, co się na nie składa, to może się okazać, że będzie on nieskończenie długi. Jeśli nie upierasz się, by na liście wymieniać składniki przedmiotów, to możesz na niej zamieścić tylko jedną pozycję: „wszechświat”. Widać wyraźnie, że bez względu na to, jak do tego podejść, pomysł z listą jest mocno problematyczny.

Ale co ważniejsze, spisanie listy tak naprawdę wcale nie jest odpowiedzią na nasze pytanie. Odpowiedź, która by nas zadowalała, nie może być po prostu spisem tego, co składa się na otaczającą nas złożoność – niemal nieskończoną różnorodność rzeczy. Dobra odpowiedź powinna nam jeszcze tę złożoność jakoś upraszczać. Na tym właśnie polega sukces układu okresowego pierwiastków (tej tabelki z tlenem, żelazem, węglem itd.). Pozwala on opisać każdy przedmiot, jaki ludzie kiedykolwiek widzieli, próbowali ugryźć[2], jakiego dotykali czy jakim w siebie rzucali –

a wszystko to przy wykorzystaniu mniej więcej stu podstawowych klocków. Układ okresowy pierwiastków pokazuje, że wszechświat ma strukturę podobną do klocków Lego. Z jednego zestawu maleńkich plastikowych klocków możesz zbudować zabawkowe dinozaury, samoloty albo piratów – albo stworzyć hybrydę: latającego dinopirata.



Z pierwiastkami jest podobnie jak z Lego: kilka podstawowych klocków (czyli właśnie pierwiastków) pozwala w naszym wszechświecie zbudować wiele rzeczy – gwiazdy, kamienie, kurz, lody, lamy. Ta porządkująca zasada, zgodnie z którą obiekty złożone tak naprawdę składają się z obiektów prostych, pozwala nam dojść do głębszego rozumienia świata właśnie przez odkrywanie tych prostych składników.

Ale dlaczego wszechświat stosuje się do filozofii Lego? O ile wiemy, nie ma żadnego powodu, dla którego takie uproszczenie miałoby w ogóle być możliwe. Zdaniem prehistorycznych naukowców świat mógł funkcjonować na mnóstwo innych sposobów. Jaskiniowi uczeni, profesor Uk i profesor Grug, bazowali wyłącznie na własnym doświadczeniu, które dawało się pogodzić z całym mnóstwem różnych pomysłów na to, z czego składa się wszechświat.

PIERWSI FIZYCY

Mogłoby być tak, że liczba różnych rodzajów materii jest prawie nieskończona. W takim wszechświecie kamienie mogłyby składać się z cząsteczek należących do pierwiastka o nazwie kamień. Powietrze składałoby się z cząsteczek pierwiastka powietrze. Słonie mogłyby się składać z cząsteczek pierwiastka słoń (nazwijmy je dumbotronami). W takim hipotetycznym wszechświecie układ pierwiastków zawierałby prawie nieskończoną liczbę pozycji.

Albo też, co byłoby jeszcze dziwniejsze, moglibyśmy żyć we wszechświecie, w którym rzeczy w ogóle nie składają się z małych cząsteczek. W takim wszechświecie kamienie zbudowane by były z rozciągłej kamiennej masy, którą można by w nieskończoność rozcinać na coraz mniejsze kawałki, tyle że trzeba by do tego mieć nieskończenie ostry nóż.

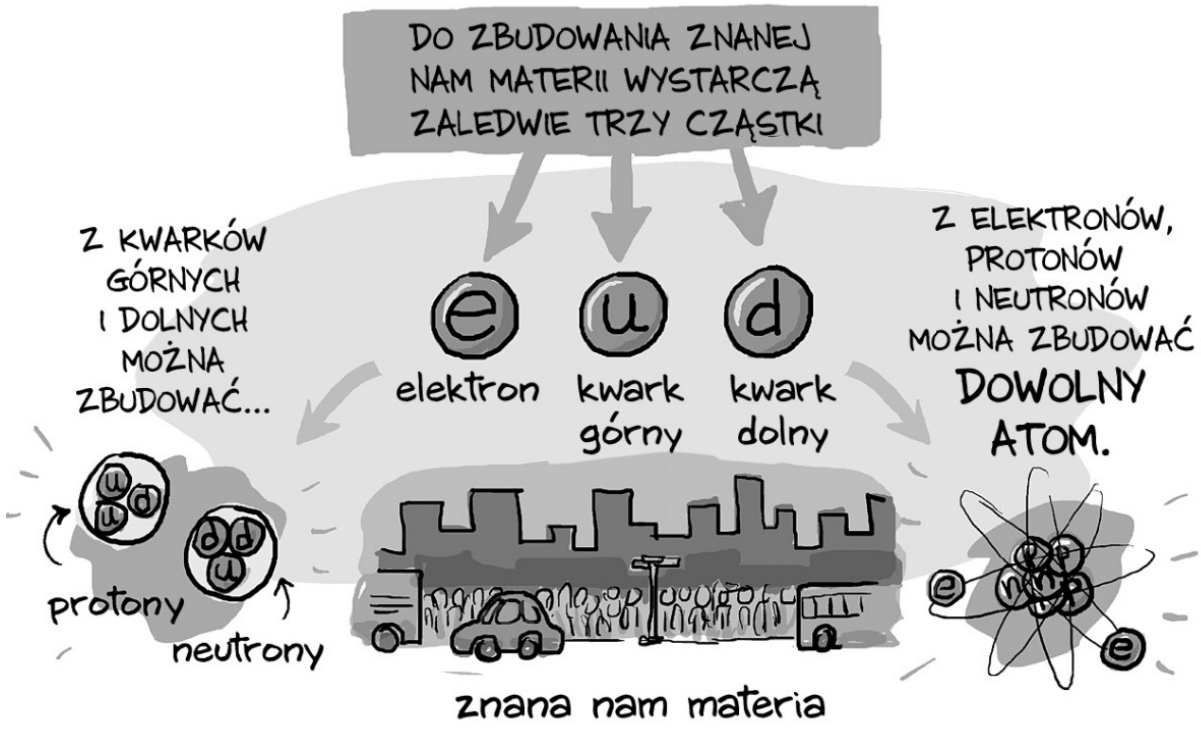
Oba te wyobrażenia odpowiadały danym, które zebrali profesorowie Uk i Grug w ramach swoich słynnych eksperymentów ze zderzaniem kamieni. Wspominamy o tych możliwościach nie dlatego, że naszym zdaniem tak właśnie funkcjonuje wszechświat, tylko po to, by ci przypomnieć, że nasza część wszechświata w zasadzie mogłaby tak funkcjonować i że to nadal może być prawdą w odniesieniu do innego rodzaju materii we wszechświecie, której jeszcze nie zbadaliśmy.

Dlatego właśnie opisane w tej książce tajemnice wszechświata, których nie udało się jeszcze wyjaśnić, powinny cię raczej natchnąć i pobudzić do poszukiwania niż sfrustrować czy zniechęcić. Pokazują one, ile jeszcze mamy do zbadania i odkrycia.

Wydaje się, że we wszechświecie, który znamy i kochamy, otaczające nas rzeczy składają się z maleńkich cząstek. Po tysiącach lat badań i refleksji mamy naprawdę świetną teorię materii[3]. Od czasów pierwszych eksperymentów, które przeprowadzali profesorowie Uk i Grug, aż do dziś przebyliśmy długą drogę, na której przekroczyliśmy etap układu okresowego i zajrzeliśmy do środka atomu.

Materia, jaką znamy, składa się z atomów pierwiastków ujętych w układzie okresowym. Każdy atom to jądro otoczone chmurą elektronów. Jądro zawiera protony i neutrony, a każdy z nich zbudowany jest z kwarków górnych i kwarków dolnych. Mając więc kwarki górne, kwarki dolne i elektrony, możemy zbudować każdy pierwiastek z układu okresowego. Cóż za osiągnięcie! Skróciliśmy listę składników wszechświata najpierw z nieskończenie długiej do mniej więcej setki pierwiastków układu okresowego, a następnie do zaledwie trzech cząstek. Wszystko, co kiedykolwiek widzieliśmy, czego dotykaliśmy, co wąchaliśmy albo o co boleśnie uderzyliśmy palcami stopy, można

zbudować z trzech podstawowych klocków. Pogratulujmy sobie zbiorowego wysiłku milionów ludzkich mózgów!



Wprawdzie jako gatunek mamy powody do dumy, jednak cały ten opis jest niepełny z dwóch bardzo ważnych powodów.

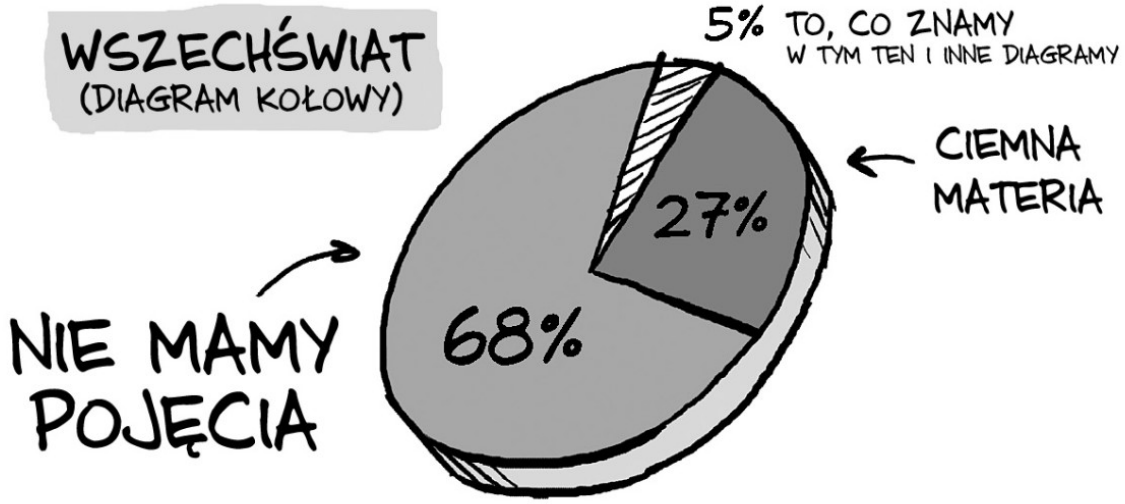
Po pierwsze są jeszcze inne cząstki, a nie tylko elektron i dwa kwarki. Te trzy cząstki wystarczą do budowy normalnej materii, ale w ubiegłym wieku fizycy cząstek elementarnych odkryli jeszcze dziewięć kolejnych cząstek materii i pięć innych cząstek, które przenoszą oddziaływania. Niektóre z tych cząstek są bardzo dziwne, na przykład te zwane neutrinami – potrafią przebyć w ołowiu całe biliony kilometrów niczym widmo, nie zderzając się z jakąkolwiek inną cząstką[4]. Dla neutrin ołów jest przezroczysty. Inne cząstki są bardzo podobne do tych trzech, z których składa się materia, ale są dużo, dużo cięższe.

Dlaczego mamy te dodatkowe cząstki? Po co nam one? Kto je do nas zaprosił? Ile jeszcze innych cząstek istnieje? Nie wiemy. Więcej: nie mamy pojęcia! Niektóre z tych dziwnych cząstek i ich intrygujące wzorce zachowań omówimy szczegółowo w rozdziale 4.

Ale nasz opis jest niepełny z jeszcze innego bardzo ważnego powodu. Wprawdzie do zbudowania gwiazd, planet, komet i korniszonów wystarczą nam zaledwie trzy cząstki, okazuje się jednak, że te rzeczy stanowią zaledwie drobną część wszechświata. Ten typ materii, który uważamy za normalny – bo to jej jedyny rodzaj, jaki znamy – jest tak naprawdę całkiem niezwykły. Stanowi on raptem 5 procent wszystkiego (materii i energii) we wszechświecie.

Z czego się składa pozostałe 95 procent wszechświata? Nie wiemy!

Gdybyśmy narysowali diagram kołowy wszechświata, wyglądałby mniej więcej tak:



Ten diagram wygląda dość zagadkowo. Zaledwie 5 procent koła to rzeczy, które znamy, w tym gwiazdy, planety i wszystko, co się na nich mieści. Całe 27 procent stanowi coś, co nazywamy „ciemną materią”. Pozostałe 68 procent wszechświata to coś, z czego ledwie cokolwiek pojmujemy. Fizycy nazywają to „ciemną energią”. Sądzimy, że powoduje ona rozszerzanie się wszechświata, ale to w zasadzie wszystko, co o niej wiemy. Oba te pojęcia oraz to, jak doszliśmy do tych właśnie liczb, wyjaśnimy w dalszych rozdziałach.

A to jeszcze nie koniec złych wiadomości. Nawet w ramach tych 5 procent, które znamy, nadal jest mnóstwo rzeczy, których nie wiemy (pamiętacie o tych „dodatkowych” cząstkach?). W niektórych wypadkach nie wiemy nawet, jak zadawać właściwe pytania, które mogłyby naprowadzić nas na metodę rozwikłania tych tajemnic.

W takim oto miejscu znajdujemy się jako gatunek. Zaledwie kilka akapitów wcześniej gratulowaliśmy sobie z powodu niewiarygodnych osiągnięć w zakresie intelektualnego zgłębiania świata, czyli opisania całej znanej nam materii za pomocą prostych kategorii. Teraz wiwaty te wydają się nieco przedwczesne, ponieważ większość wszechświata składa się

z czego innego! To trochę tak, jakbyśmy od tysięcy lat badali słonia i nagle odkryli, że patrzymy tylko na jego ogon!

Taką wiadomość możesz odebrać jako pewne rozczarowanie. Być może myślałeś, że osiągnęliśmy szczyty rozumienia wszechświata i panowania nad nim (mamy przecież roboty, które odkurzają nam domy!). Warto jednak spróbować spojrzeć na to nie jak na rozczarowanie, ale jak na niesamowitą szansę: okazję do badania, uczenia się i zgłębiania rzeczywistości. Co byś poczuł, gdybyś na przykład dowiedział się, że zbadaliśmy dopiero 5 procent powierzchni Ziemi? Albo że próbowałeś dotychczas zaledwie 5 procent smaków lodów, jakie są produkowane na świecie? Twoja dusza naukowca domagałaby się gruntownego wyjaśnienia (a twoje ciało – dodatkowych łyżeczek) i nie mogłaby się doczekać, jakich nowych odkryć będzie mogła dokonać.

Przypomnij sobie, jak w szkole podstawowej uczyłeś się o wspaniałych dokonaniach największych odkrywców w dziejach. Żeglowali w nieznane,

odkrywali nowe lądy i rysowali mapę świata. Pewnie wydawało ci się to ekscytujące, ale być może czułeś też ukłucie smutku i żalu, że obecnie wszystkie kontynenty są już odkryte, najmniejsze nawet wyspy – ponazywane i że wraz z nadejściem epoki satelitów oraz GPS-u era badań i odkryć odeszła w przeszłość. Dobra wiadomość jest taka, że wcale tak nie jest.

Zostało jeszcze ogromnie wiele do zbadania! Tak naprawdę znajdujemy się w początkowym okresie całkiem nowej epoki badań. Wkraczamy w etap, w którym przypuszczalnie dojdzie do przedefiniowania naszego rozumienia wszechświata. Z jednej strony wiemy, jak bardzo mało wiemy (5 procent, pamiętasz?), mamy więc pewne pomysły, o co pytać. A z drugiej – budujemy fantastyczne nowe narzędzia, takie jak potężne zderzacze cząstek, detektory fal grawitacyjnych i teleskopy, które pomogą nam znaleźć odpowiedzi. To wszystko dzieje się właśnie teraz!

Ekscytujące jest to, że wielkie naukowe tajemnice faktycznie mają prawdziwe, niezbite wyjaśnienia. Tylko my jeszcze ich nie znamy. Jest szansa, że uda się je znaleźć jeszcze za naszego życia. Na przykład gdzieś we wszechświecie właśnie teraz żyją, albo i nie, istoty rozumne. Odpowiedź na to pytanie z pewnością istnieje (agent Mulder miał rację:

prawda istnieje!). Poznanie takich odpowiedzi zmieniłoby w fundamentalny sposób nasze rozumienie świata.

Historia nauki to dzieje rewolucji, w wyniku których za każdym razem odkrywamy, że naszą wizję świata zniekształca szczególna perspektywa, z jakiej dotychczas na niego patrzyliśmy. Płaska Ziemia, Ziemia w centrum Układu Słonecznego, wszechświat zdominowany przez gwiazdy i planety – wszystko to były rozsądne wyobrażenia, biorąc pod uwagę dane, którymi dysponowaliśmy, i czas, kiedy powstawały, choć teraz uważamy je za żenująco naiwne. Niemal na pewno czeka nas więcej tego rodzaju rewolucji, w ramach których mogą się zachwiać różne akceptowane przez nas ważne koncepcje, takie jak teoria względności i fizyka kwantowa, a ich miejsce mogą zająć nowe, fantastyczne idee. Za dwieście lat ludzie pewnie będą spoglądać na nasze pojmowanie wszechświata tak samo, jak my dziś patrzymy na jaskiniowców próbujących zrozumieć swój świat.

Podróż ludzkości ku zrozumieniu wszechświata jeszcze długo się nie skończy, a ty właśnie zaczynasz w niej uczestniczyć! Będzie smakowicie!

[1] Ostatnie pytanie stanowi tytuł jednego z najczęściej cytowanych tekstów filozoficznych, napisanego przez amerykańskiego filozofa Thomasa Nagela. (Uwaga, spoiler! Odpowiedź brzmi: „Tego nigdy się nie dowiemy”).

[2] Tak, zgadza się: nawet jaszczurkę, której smak próbował poznać twój kolega w trzeciej klasie.

[3] Nauka w swojej nowożytnej postaci, z doświadczeniami, danymi i białymi fartuchami, ma zaledwie kilka stuleci, ale historia refleksji nad tymi zagadnieniami obejmuje już tysiące lat.

[4] Tak sądzimy. Nikt nie próbował przeprowadzić dokładnie takiego doświadczenia.

2

Co to jest ciemna materia?

Właśnie w niej pływasz!

Oto wykres kolumnowy masy i energii w znanym nam wszechświecie:

Fizycy uważają, że aż 27 procent materii i energii w znanym wszechświecie składa się z czegoś, co nazywają „ciemną materią”. Znaczy to, że większość materii we wszechświecie to inna materia niż ta, którą od wieków badamy. Tej tajemniczej materii jest aż pięć razy więcej niż materii „normalnej” – tej, którą znamy. Tak naprawdę to właściwie niezbyt słusznie nazywamy tę naszą materię „normalną”, skoro w rzeczywistości jest ona dość rzadko spotykana we wszechświecie.

Czym zatem jest ta ciemna materia? Czy jest niebezpieczna? Czy może ci pobrudzić ubranie? Skąd wiemy, że istnieje?

Ciemna materia jest wszędzie. Właśnie teraz w niej pływasz. Hipotezę, że istnieje, po raz pierwszy zaproponowano w latach dwudziestych XX wieku, a potraktowano poważnie w latach sześćdziesiątych, kiedy to astronomowie zauważyli coś dziwnego w ruchu obrotowym galaktyk i powiązali to z wielkością ich masy.

Skąd wiemy, że ciemna materia istnieje?

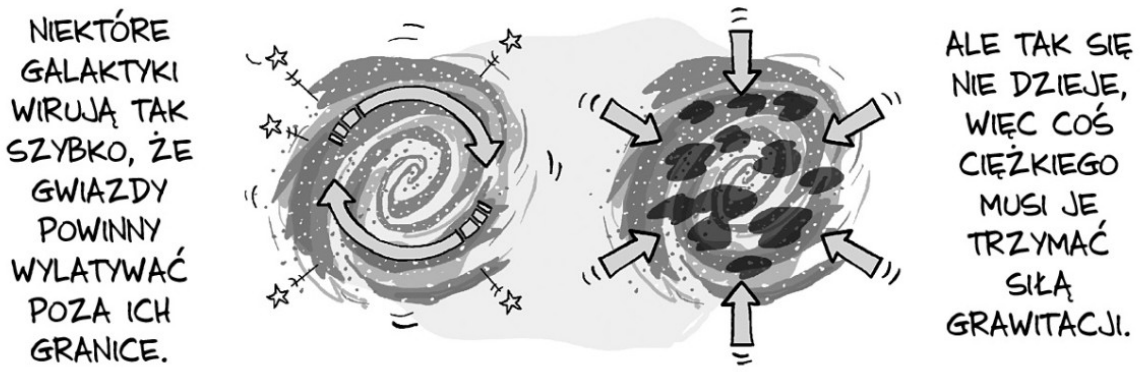
1. Wirujące galaktyki

By zrozumieć związek ciemnej materii z wirującymi galaktykami, wyobraź sobie, że rozsypujesz mnóstwo piłeczek pingpongowych na podłodze dużej karuzeli w wesołym miasteczku. A teraz wyobraź sobie, że karuzela zaczyna się kręcić. Domyślasz się pewnie, że piłeczki potoczą się w kierunku od środka i pospadają z karuzeli. Wirująca galaktyka działa prawie tak samo[1]. Ponieważ galaktyka się obraca, należące do niej gwiazdy powinny chcieć z niej wylecieć. Jedyne, co je w niej trzyma, to siła grawitacji, która pochodzi z całej masy obecnej w galaktyce (grawitacja ściąga do siebie rzeczy obdarzone masą). Im szybciej wiruje galaktyka, tym

więcej masy potrzeba, by utrzymać w niej składające się na nią gwiazdy. I odwrotnie: jeśli zna się masę galaktyki, to można przewidzieć, jak szybko galaktyka potrafi wirować.

Astronomowie najpierw próbowali odgadnąć masę galaktyk, licząc, z ilu gwiazd się składają. Kiedy jednak użyli tak oszacowanej masy do wyliczenia, jak szybko galaktyki te powinny wirować, wyszło na jaw, że coś się nie zgadza. Pomiary wykazały, że galaktyki wirują szybciej, niż przewidywano na podstawie liczby zawartych w nich gwiazd. Innymi słowy, przy prędkości takiej jak ta zmierzona, gwiazdy powinny wylatywać poza granice swoich galaktyk, dokładnie tak jak piłeczki pingpongowe na karuzeli. Aby wyjaśnić tę wysoką prędkość obrotową, astronomowie musieli w swoich obliczeniach do mas galaktyk dodać duże liczby – dopiero wówczas wszystkie gwiazdy trzymały się razem. Naukowcy nie widzieli jednak nigdzie tej dodatkowej wprowadzonej do obliczeń masy. Tę sprzeczność można było rozwiązać, zakładając, że w każdej galaktyce jest bardzo dużo jakiejś ciężkiej materii, która jest niewidoczna, to znaczy „ciemna”.

Takie twierdzenie było zupełnie nadzwyczajne. A jak powiedział kiedyś słynny astronom Carl Sagan: „Nadzwyczajne twierdzenia wymagają nadzwyczajnych dowodów”. Dlatego ta dziwna zagadka w środowisku astronomów przez całe dziesięciolecia pozostawała niezrozumiała. Z upływem lat zaczęto coraz powszechniej uznawać istnienie tego tajemniczego, niewidzialnego, ciężkiego czegoś (albo ciemnej materii, jak przyjęło się ją nazywać).



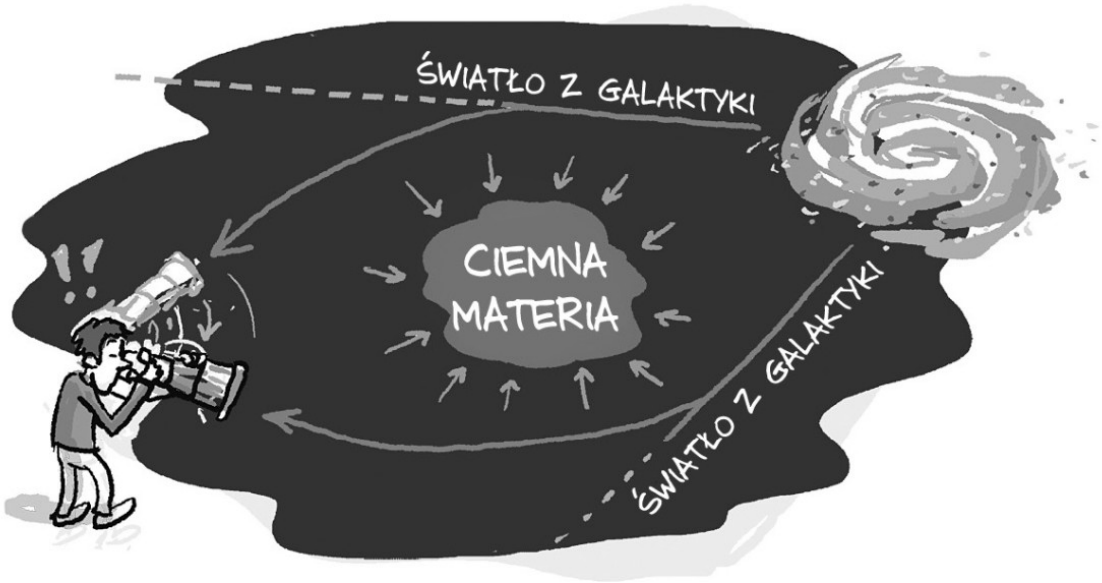
2. Soczewkowanie grawitacyjne

Inną ważną wskazówką, która przekonała naukowców, że ciemna materia istnieje naprawdę, było dostrzeżenie, że może ona zakrzywiać światło. Nazywa się to soczewkowaniem grawitacyjnym.

Astronomom zdarza się czasem spojrzeć w niebo i wypatrzyć coś dziwnego. Bywa, że zobaczą w jakimś miejscu na niebie obraz galaktyki. Nie ma w tym nic niezwykłego, ale zdarza się, że jeśli odrobinę przesuną teleskop, zobaczą obraz innej galaktyki, która wygląda bardzo podobnie do tej poprzedniej. Kształt, kolor i światło dochodzące z tych galaktyk są tak podobne, że astronomowie nie mają wątpliwości: to ta sama galaktyka. Ale jak to możliwe? W jaki sposób ta sama galaktyka może pojawiać się na niebie w dwóch miejscach?

Występowanie dwóch obrazów tej samej galaktyki można wyjaśnić, jeśli pomiędzy obserwatorem a tą galaktyką znajduje się coś ciężkiego (i niewidzialnego); ta niewidzialna ciężka masa może działać jak gigantyczna soczewka, zakrzywiając światło biegnące z galaktyki tak, że wydaje się, jakby docierało do obserwatora z dwóch kierunków.

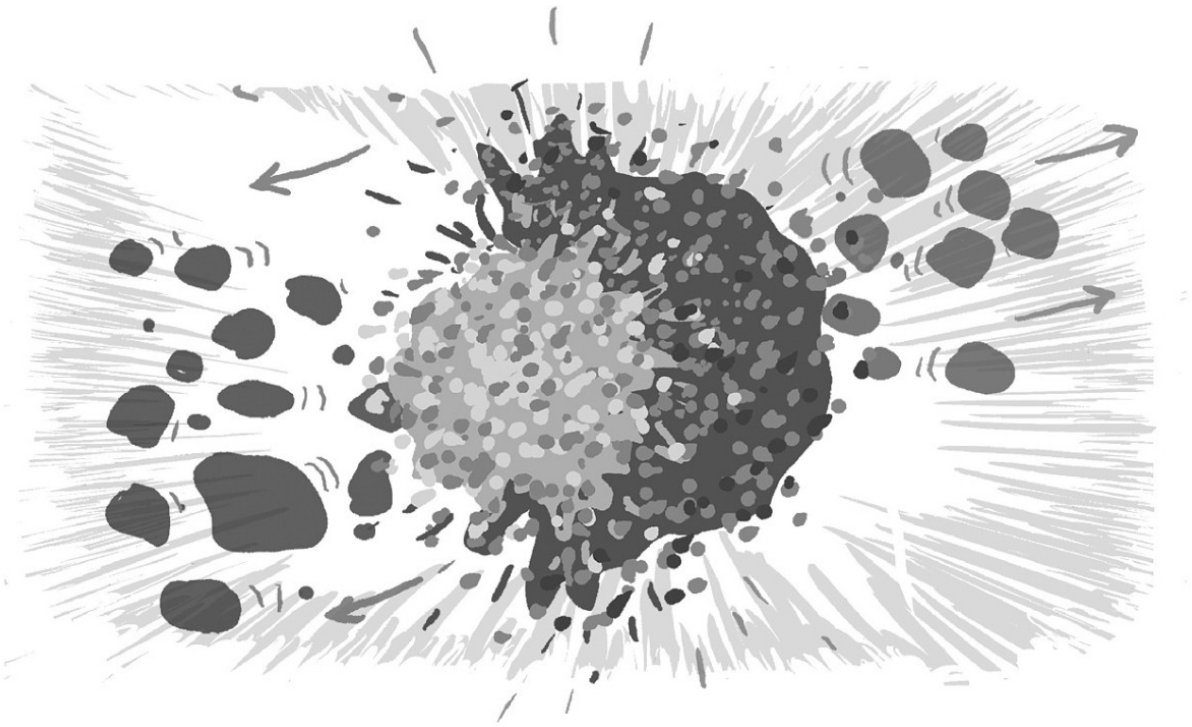
Wyobraź sobie światło rozchodzące się z tej galaktyki na wszystkie strony. Teraz przyjrzyj się dwóm cząstkom światła, znanym jako fotony, które opuszczają obserwowaną galaktykę i zmierzają w twoją stronę, mijając cię odrobinę z obu stron. Jeśli między tobą a tą galaktyką znajduje się coś ciężkiego, to grawitacja tego czegoś zniekształci przestrzeń i sprawi, że cząstki światła zakrzywią swój tor w twoim kierunku[2].



Na Ziemi zobaczysz to w swoim teleskopie jako dwa obrazy tej samej galaktyki docierające z różnych kierunków – z różnych miejsc na niebie. Efekt ten zaobserwowano na całym nocnym niebie; to ciężkie i niewidzialne coś wydawało się występować wszędzie. Wkrótce ciemna materia przestała być szalonym pomysłem. Gdzie okiem sięgnąć, widać było dowody na jej istnienie.

3. Zderzenie galaktyk

Najbardziej przekonujący dowód na istnienie ciemnej materii pojawił się podczas obserwacji gigantycznego zderzenia galaktyk. Przed milionami lat miało miejsce niezwykłe wydarzenie: wpadły na siebie dwie gromady galaktyk; spóźniliśmy się na sam moment zderzenia, ale ponieważ biegnące stamtąd światło potrzebuje milionów lat, by do nas dotrzeć, możemy rozsiąść się wygodnie w fotelu i oglądać eksplozje, które to zderzenie spowodowało.



Kiedy dwie gromady galaktyk wpadły na siebie, gaz i pył w każdej z nich zderzyły się ze sobą, dając w rezultacie wspaniałe widowisko: wielkie eksplozje, rozrywające się gigantyczne chmury materii – spektakularny pokaz efektów specjalnych. Być może łatwiej będzie to sobie wyobrazić jako zderzenie dwóch olbrzymich grup balonów z wodą, które ciśnięto na siebie z potworną prędkością.

Astronomowie zauważyli jednak coś jeszcze. W pobliżu miejsca zderzenia dostrzegli dwa gigantyczne skupiska ciemnej materii; oczywiście ta ciemna materia była niewidzialna, ale naukowcom udało się wykryć ją pośrednio, dokonując pomiarów wywołanego przez te skupiska zniekształcenia światła, które pochodziło od znajdujących się za nimi galaktyk. Te dwa skupiska ciemnej materii wydawały się poruszać wzdłuż kierunku, wzdłuż którego doszło do zderzenia, jak gdyby nic w tym miejscu się nie stało.

Astronomowie połączyli to wszystko tak: były dwie gromady galaktyk, w każdej znajdowała się zwykła materia (w większości gaz i pył plus trochę gwiazd) oraz ciemna materia. Kiedy te dwie gromady się zderzyły, większość zwykłej materii wpadła na siebie, tak jak się można było tego spodziewać. Ale co się dzieje, kiedy ciemna materia wpada na ciemną materię? O ile dobrze widzimy – nic! Skupiska ciemnej materii przemieszczają się dalej i przechodzą przez siebie na wylot – prawie jakby były dla siebie niewidzialne. Podobnie stało się z większością gwiazd – ale to dlatego, że są przestrzennie rozproszone.

Olbrzymie ilości materii, większe niż wiele galaktyk, przeszły wprost przez siebie. W zasadzie w wyniku tego zderzenia galaktyki zostały pozbawione ciemnej materii.

Co wiemy o ciemnej materii?

W tym momencie powinno być całkiem jasne, że ciemna materia istnieje i że jest to coś dziwnego, różniącego się od materii, którą znamy. Oto co

wiemy o ciemnej materii:

- Ma masę.
- Jest niewidzialna.
- Lubi towarzystwo galaktyk.
- Zdaje się, że zwykła materia nie może jej dotknąć.
- Zdaje się, że inna ciemna materia też nie może jej dotknąć[3].
- Ma naprawdę spoko nazwę.

Teraz myślisz sobie pewnie: „O jaaa! Ale bym się chciał składać z ciemnej materii. Byłbym fantastycznym superbohaterem!”. Nie? No dobra, może tylko my tak mamy.

Jedną z rzeczy, które wiemy o ciemnej materii, jest to, że nie skrywa się nigdzie daleko. Ciemna materia na ogół rośnie kępami w potężnych skupiskach, które unoszą się w przestrzeni i lubią towarzystwo galaktyk. A skoro tak, to jest bardzo prawdopodobne, że właśnie teraz otacza cię ciemna materia. Bardzo możliwe, że kiedy czytasz tę stronę, ciemna materia przechodzi przez tę książkę i przez ciebie. Ale jeśli jest wszędzie wokół, to dlaczego jest taka tajemnicza? Dlaczego nie da się jej zobaczyć ani dotknąć? Jak to możliwe, żeby coś istniało, ale nie można było tego zobaczyć?

Badanie ciemnej materii jest trudne, ponieważ nie jesteśmy w stanie na nią oddziaływać (i *vice versa*). Nie widzimy jej (dlatego nazywa się ją ciemną), ale wiemy, że ma masę (dlatego nazywa się ją materią). By

wyjaśnić, jak to wszystko jest możliwe, musimy najpierw przyjrzeć się oddziaływaniu zwykłej materii.

Jak oddziałuje materia?

Istnieją cztery główne sposoby oddziaływania materii:

Grawitacja

Jeśli jakieś dwie rzeczy mają masę, doznają siły przyciągania do siebie nawzajem.

Elektromagnetyzm

To oddziaływanie, któremu podlegają dwie cząstki, jeśli mają ładunek elektryczny. Siła z nim związana może być przyciągająca albo odpychająca w zależności od tego, czy ładunki są przeciwne czy nie.

Tak naprawdę możesz poczuć tę siłę w codziennym życiu. Jeśli naciskasz palcem na tę książkę, papier nie kruszy się, a twoja ręka nie przechodzi przez niego na wylot: dzieje się tak dlatego, że cząsteczki

tworzące papier mocno trzymają się siebie dzięki wiązaniom elektromagnetycznym, a odpychają cząsteczki twojej dłoni.

Elektromagnetyzm jest także odpowiedzialny za światło oraz oczywiście za elektryczność i magnetyzm. Na temat światła i głębokich związków między cząstkami i oddziaływaniami powiemy więcej w dalszej części.

Oddziaływanie słabe

To oddziaływanie jest pod wieloma względami podobne do elektromagnetyzmu, ale dużo, dużo słabsze. Na przykład neutrina oddziałują w ten sposób (słabo!) na inne cząstki. W wypadku bardzo wysokiej energii oddziaływanie słabe staje się równie silne jak elektromagnetyzm i wykazano, że jest ono tylko jednym z przejawów zunifikowanego oddziaływania zwanego „elektrosłabym”.

Oddziaływanie silne

To siła, która spaja protony i neutrony wewnątrz jądra atomu. Bez niej wszystkie te dodatnio naładowane protony w jądrze po prostu by się odpychały i odleciały od siebie.

W jaki sposób oddziałuje ciemna materia?

Warto zaznaczyć, że przedstawiona wyżej lista oddziaływań jest tylko opisowa. Pod tym względem fizyka przypomina czasem botanikę. Nie

rozumiemy, dlaczego istnieją te wszystkie oddziaływania. To po prostu podsumowanie naszych obserwacji. Nie wiemy nawet, czy jest kompletne. Jak dotąd jednak potrafimy wyjaśnić każde doświadczenie z zakresu fizyki cząstek elementarnych przy użyciu tych czterech oddziaływań.

Dlaczego więc ciemna materia jest taka ciemna? Podsumujmy: ciemna materia ma masę, więc podlega oddziaływaniu grawitacyjnemu. Ale to właściwie wszystko, co o jej oddziaływaniach wiemy na pewno. Sądzimy, że nie oddziałuje elektromagnetycznie. Z tego, co wiemy, nie odbija światła ani go nie emituje – to właśnie z tego powodu tak trudno nam ją zobaczyć bezpośrednio. Wydaje się, że ciemnej materii nie dotyczy również ani oddziaływanie słabe, ani silne.

Wobec tego, o ile nie pojawią się jakieś nieodkryte jeszcze oddziaływania, wydaje się, że ciemna materia nie może oddziaływać ani z nami, ani z naszymi teleskopami czy detektorami, jeśli myślimy o wykorzystywaniu „normalnych” zjawisk. To sprawia, że bardzo trudno ją badać.

Spośród czterech znanych nam podstawowych sposobów oddziaływania rzeczy jedyną, o której wiemy na pewno, że stosuje się do ciemnej materii, jest grawitacja. To stąd pochodzi słowo „materia” w nazwie ciemnej

materii. Ciemna materia ma w sobie coś. Ma masę, a skoro ma masę, podlega oddziaływaniu grawitacyjnemu.

Jak możemy badać ciemną materię?

Mamy nadzieję, że przekonaliśmy cię do istnienia ciemnej materii. Na pewno coś tam jest: coś, co powstrzymuje gwiazdy przed rozproszeniem się w pustej przestrzeni, co zakrzywia światło pochodzące z galaktyk i co wychodzi z gigantycznych kosmicznych zderzeń niczym bohaterowie kina akcji, w zwolnionym tempie odchodzący od eksplodujących samochodów (nawet nie oglądając się za siebie). Taka odlotowa jest ta ciemna materia.

Ale pozostaje pytanie: z czego się ona składa? Nie możemy udawać, że znaleźliśmy odpowiedź na ogólniejsze pytanie, z czego składa się wszechświat, jeśli zbadaliśmy tylko jego najłatwiejsze 5 procent. Nie możemy ignorować faktu, że aż 27 procent to ciemna materia. Najkrócej mówiąc, wciąż mamy bardzo niewielkie pojęcie, czym jest ciemna materia. Wiemy, że jest, wiemy, ile jej jest, i wiemy mniej więcej, gdzie jest, ale nie wiemy, z jakiego rodzaju cząstek się składa – ani nawet tego, czy w ogóle składa się z cząstek. Pamiętaj, że musimy być bardzo ostrożni z rozszerzaniem wniosków z jednego rzadko spotykanego rodzaju materii na cały wszechświat[4]. Trzeba zachować otwarty umysł, żeby móc dokonywać odkryć, które zmienią sposób naszego myślenia o wszechświecie i naszym miejscu w nim.

Aby posuwać się naprzód, musimy analizować różne dziwne pomysły, badać ich konsekwencje i wymyślać eksperymenty, które będą je testowały. Możliwe, że ciemna materia składa się z tańczących kosmicznych fioletowych słoni zbudowanych z nowych, dziwacznych

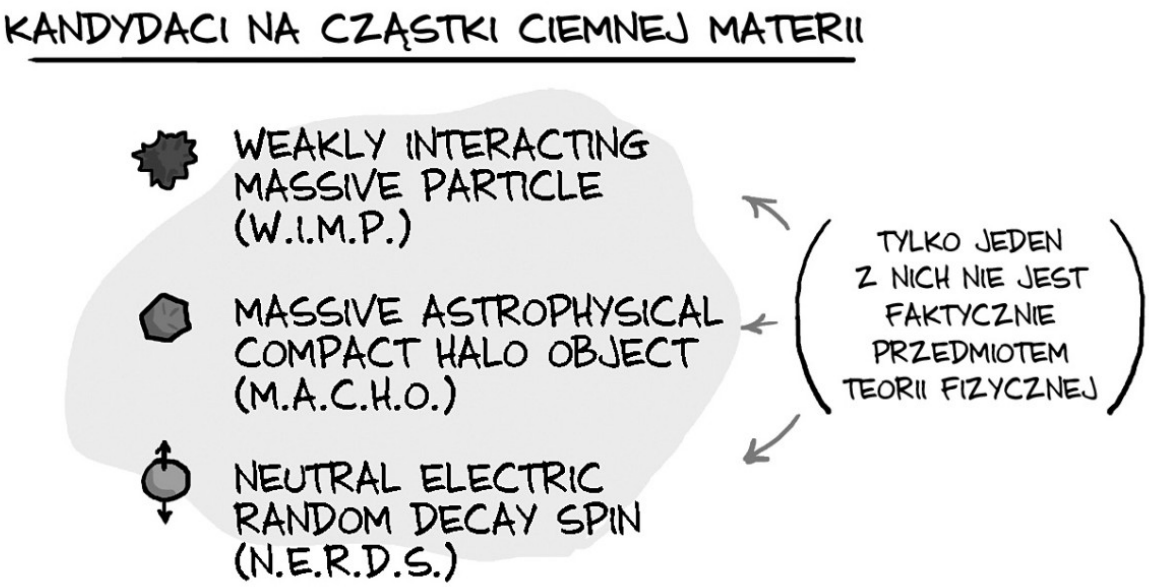
i niewykrywalnych cząstek, ale ponieważ tę teorię trudno poddać testom, dla nauki nie będzie ona priorytetem[5].

Prosty, konkretny pomysł jest taki, że ciemna materia składa się z jakiegoś nowego rodzaju cząstek, że jest tylko jeden ich typ i że wykorzystują one jakiś nowy rodzaj siły do bardzo, bardzo słabego oddziaływania z normalną materią. Dlaczego miałby być tylko jeden typ tych nowych cząstek? Bo to najprostszy pomysł, więc rozsądnie jest sprawdzić najpierw taki wariant. Na pewno jest możliwe, że ciemna materia składa się z różnego typu cząstek, tak jak zwykła materia; te ciemne cząstki mogą oddziaływać ze sobą na rozmaite sposoby, których wynikiem może być ciemna chemia, może nawet ciemna biologia, ciemne sprawki i ciemne typki (strach pomyśleć).

Kandydatka na nową cząstkę znana jest pod akronimem WIMP, który pochodzi od słów: Weakly Interacting Massive Particle – słabo oddziałująca masywna cząstka (tzn. coś obdarzonego masą, co oddziałuje w słaby sposób ze zwykłą materią). Domyślamy się, że może ona wykorzystywać nową hipotetyczną siłę do oddziaływania z naszym typem materii na mniej więcej tym samym poziomie co neutrina, czyli jest to oddziaływanie bardzo, bardzo niewielkie. Przez jakiś czas rozważano inne pomysły, takie jak istnienie naprawdę ogromnych mas normalnej materii o wielkości Jowisza. By odróżnić je od WIMP-ów, co po angielsku oznacza mięczaka,

nazwano je MACHO (Massive Astrophysical Compact Halo Object – masywne zwarte obiekty halo).

Skąd wiemy, że cząstki ciemnej materii oddziałują z normalną materią za pośrednictwem jeszcze czegoś innego niż grawitacja? Tego nie wiemy. Mamy nadzieję, że tak jest, bo dzięki temu byłoby dużo łatwiej je wykryć. Dlatego próbujemy przeprowadzać bardzo trudne eksperymenty, zanim zabierzemy się do tych prawie niemożliwych.



W celu wykrycia hipotetycznych cząstek ciemnej materii fizycy przeprowadzają rozmaite doświadczenia. Jedno z klasycznych podejść polega na wypełnieniu pojemnika zimnym sprężonym gazem szlachetnym i otoczeniu go detektorami, które zarejestrują sygnał, gdy choć jeden atom gazu zderzy się z ciemną materią. Jak dotąd eksperymenty te nie przyniosły jeszcze dowodu na istnienie ciemnej materii, ale dopiero ostatnio buduje się wystarczająco duże pojemniki i dostatecznie czułe detektory, by można się było spodziewać wykrycia ciemnej materii w ten sposób.

Inna metoda polega na próbie stworzenia ciemnej materii przy wykorzystaniu zderzacza cząstek wysokoenergetycznych, który rozpędza cząstki normalnej materii (protony albo elektrony) do niewyobrażalnie wysokich prędkości i roztrzaskuje jedne o drugie. Sam pomysł z roztrzaskiwaniem jest fantastyczny, a dodatkowa korzyść polega na tym, że można badać wszechświat w poszukiwaniu nowych cząstek. Jest tak dzięki temu, że w wyniku tego eksperymentu badacze mogą zamieniać jeden rodzaj materii w inne jej rodzaje. Kiedy cząstki zderzają się ze sobą, nie tylko zmienia się układ ich składników; wyjściowa materia doznaje anihilacji i powstają nowe jej formy. To jak alchemia (wcale nie żartujemy!) na poziomie subatomowym. Znaczy to tyle, że można wytworzyć – z pewnymi ograniczeniami – prawie każdy rodzaj cząstki, jaki tylko istnieje, nie wiedząc z góry, czego się szuka. Naukowcy analizują te zderzenia, poszukując dowodu, że niektóre z nich prowadzą do stworzenia cząstki ciemnej materii.

Trzecie podejście to celowanie teleskopami w miejsca, w których wedle naszej wiedzy istnieją wielkie skupiska ciemnej materii. Najbliżej nas znajduje się centrum naszej galaktyki, w którym prawdopodobnie tkwi bardzo duża masa tego dziwnego czegoś. Pomysł opiera się na przypuszczeniu, że dwie cząstki ciemnej materii mogą losowo na siebie wpadać i nawzajem się anihilować. Gdyby ciemna materia w jakiś sposób ze sobą oddziaływała, to jej cząstki mogłyby się zderzać i zamieniać w cząstki normalnej materii, tak jak dwie cząstki normalnej materii mogą się zderzyć i wytworzyć ciemną materię[6]. Jeśli będzie się to przydarzać wystarczająco często, to część powstałych cząstek normalnej materii będzie miała na tyle charakterystyczny rozkład energii oraz położenia, że uda się je wskazać naszym teleskopom jako cząstki pochodzące przypuszczalnie ze zderzeń ciemnej materii. Ale by zrozumieć ten proces, musimy dowiedzieć

się mnóstwa rzeczy o tym, co się dzieje w centrum galaktyki, a to kolejny, całkiem odrębny zestaw tajemnic.

Światło w ciemności

Ciemna materia to wyraźna wskazówka, że mimo wszystkich swoich odkryć i całego postępu wciąż w gruncie rzeczy poruszamy się po omacku, próbując zrozumieć naturę wszechświata. W kategoriach jej rozumienia jesteśmy na tym samym poziomie co jaskiniowi naukowcy Uk i Grug. Ciemnej materii nie obejmują nawet nasze obecne matematyczne czy fizyczne modele wszechświata. Istnieje ogromna ilość czegoś, co nadciąga ku nam w ciszy, a my niezupełnie wiemy, co to jest. Nie możemy twierdzić, że rozumiemy wszechświat, jeśli nie pojmujemy ogromnej jego części.

Ale zanim zaczniesz paranoicznie obawiać się tej dziwacznej, ciemnej i tajemniczej masy czegoś, co unosi się wszędzie wokół ciebie, pomyśl tak: a jeśli ciemna materia to coś fantastycznego?

Ciemna materia składa się z czegoś, czego w bezpośredni sposób nie doświadczamy. To coś, czego nigdy nie widzieliśmy, i być może zachowuje się tak, jak sobie nawet nie wyobrażamy.

Pomyśl o zdumiewających możliwościach, jakie w niej tkwią.

A jeśli ciemna materia składa się z jakiegoś nowego rodzaju cząstek, które jesteśmy w stanie wytwarzać i okiełznać w wysokoenergetycznych zderzaczach cząstek? Albo jeśli odkrywając te cząstki, ustalimy o prawach fizyki coś, o czym wcześniej nie wiedzieliśmy? Na przykład jakieś nowe oddziaływanie podstawowe albo nowy sposób, w jaki mogą funkcjonować istniejące oddziaływania… A jeśli takie odkrycie przyniesie nam nowe sposoby wpływu na zwykłą materię?

Wyobraź sobie, że przez całe życie grałeś w jakąś grę i nagle dowiadujesz się, że istnieją pewne specjalne reguły albo nowe elementy, dzięki którym możesz grać w nią zupełnie inaczej. Jakież niewiarygodne nowe technologie, nowe rozumienie świata można by odblokować dzięki rozgryzieniu, czym jest ciemna materia i jak się zachowuje!

Zdążając ku ciemnej materii, nie będziemy cały czas poruszać się po omacku. Kiedyś musi pojawić się jakieś światło.

---

[1] Z tą różnicą, że galaktyki są na ogół nieco większe niż karuzele.

[2] Hipotezę zakrzywienia światła pod wpływem grawitacji zaproponował, a później udowodnił Albert Einstein. Podobno był z niego całkiem mądry facet.

[3] Możliwe, że ciemna materia może się delikatnie wyczuwać dzięki jakiemuś nowemu nieznanemu oddziaływaniu.

[4] Jeśli dziś na drugie śniadanie jadłeś kanapkę z serem, to nie znaczy, że zawsze na drugie śniadanie jest kanapka z serem.

[5] W chwili powstawania tej książki dalsze losy finansowania badań naukowych były trudne do przewidzenia.

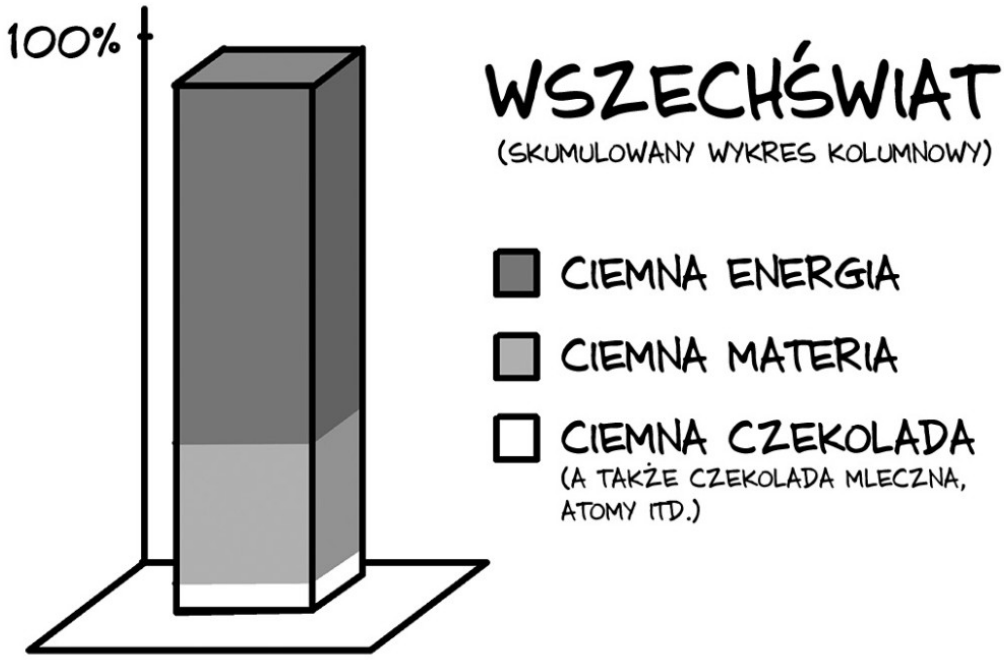
[6] Jeśli dwie cząstki normalnej materii mogą się zmienić w dwie cząstki ciemnej materii, to ten proces może też odbywać się w przeciwnym kierunku: dwie cząstki ciemnej materii mogą się zamienić w dwie cząstki normalnej materii.

3

Co to jest ciemna energia?

Za chwilę rozszerzający się wszechświat rozsadzi twój umysł

Od takiego ciosu faktycznie można się zachwiać: za to wszystko, co ci się wydawało, że wiesz o wszechświecie, dostałbyś zaledwie 5 procent punktów na znormalizowanym teście przeprowadzanym przez rasę inteligentnych przybyszów z kosmosu. Spójrzmy prawdzie w oczy: twoje szanse, by dostać się na uniwersytet kosmitów, są raczej niewielkie[1]. Przypomnijmy, co wiemy jako gatunek ludzki – oto skumulowany kolumnowy wykres wszechświata (przepraszamy, ale właśnie kończą nam się typy wykresów):



Wyobraź sobie, że przez całe życie myślałeś, że masz wyjątkowo przestronny dom, i że wydawało ci się, że nic poza nim nie istnieje. I oto pewnego dnia dowiadujesz się, że tak naprawdę to tylko pierwsze pięć pięter w stupiętrowym luksusowym apartamentowcu. Nagle twoja sytuacja życiowa nieco się skomplikowała. Dwadzieścia siedem z pozostałych pięter należy do czegoś ciężkiego, ale niewidzialnego, co nazywamy ciemną materią. To mogą być super sąsiedzi – albo jacyś dziwaczni. Nie wiadomo dlaczego, ale jakoś ciągle nie możecie się spotkać na korytarzu.

Całe sześćdziesiąt osiem z pozostałych pięter to prawie zupełna tajemnica. Te pozostałe 68 procent wszechświata fizycy nazywają ciemną energią. To największy kawał rzeczywistości, a my nie mamy prawie żadnego pojęcia, czym on jest.

Po pierwsze być może zastanawiasz się, dlaczego nazywamy go ciemną energią. Tak naprawdę moglibyśmy nadać mu dowolną nazwę[2]. Dlaczego dowolną? Bo prawie nic o nim nie wiemy – poza tym, że jest przyczyną bardzo szybkiego rozszerzania się wszechświata.

Drugie pytanie, jakie możesz sobie zadawać, brzmi: „Skąd wiemy, że ciemna energia istnieje?”. A odpowiedź na nie: „Zupełnie przez przypadek”. Wiadomość o jej istnieniu była kompletnym zaskoczeniem dla naukowców, którzy w rzeczywistości próbowali odpowiedzieć na inne pytanie. Starali się zmierzyć, w jakim tempie zwalnia rozszerzanie się wszechświata, a zamiast tego przypadkiem ustalili, że ten proces wcale nie zwalnia, lecz robi się coraz szybszy. Pora wejść po schodach i przekonać się, co to za tajemnicze wyższe piętra.

Nasz rozszerzający się wszechświat

Aby zrozumieć, jakie to niezwykłe i obłędne, że dwie trzecie budżetu energetycznego wszechświata odkryto podczas poszukiwania czegoś innego, musimy nieco się cofnąć i zacząć od pierwotnego pytania, które doprowadziło do tego odkrycia:

> Czy nasz wszechświat ma jakiś początek, czy też istniał w obecnej postaci od zawsze?

Może się wydawać, że to proste pytanie, ale tak naprawdę jest całkiem poważne. Jeszcze sto lat temu najrozsądniejsi naukowcy uważali za rzecz oczywistą, że wszechświat, jaki widzimy, istnieje odwiecznie i zawsze taki będzie. Większości ludzi nie przychodziło nawet do głowy, że nasz wszechświat się zmienia. Sądzili, że wszystkie gwiazdy i planety istnieją w odwiecznym stanie zawieszonego ruchu, jak wisząca pod sufitem dziecięca karuzelka albo pokój pełen zegarków, które cały czas chodzą.

Ale pewnego dnia astronomowie zaczęli zauważać coś dziwnego. Zmierzyli parametry światła docierającego z otaczających nas gwiazd oraz galaktyk i doszli do wniosku, że wszystko się od siebie oddala. Wszechświat nie tkwił po prostu w miejscu… on się rozszerzał.

A jeśli wszechświat zawsze się rozszerzał, to znaczy, że teraz jest większy niż kiedyś. I gdyby pójść za tą myślą i cofnąć się w czasie, to można by sobie wyobrazić, że w pewnym momencie wszechświat był bardzo mały.

Wielu fizyków uważało, że to śmieszne, i sarkastycznie nazwało tę teorię teorią Wielkiego Wybuchu. Gdyby ci naukowcy jeszcze żyli, pewnie wypowiadając te słowa, przewracaliby oczami, unosili ręce i robili w powietrzu ironiczny cudzysłów. Było to określenie mające zawstydzić autorów tej teorii, ale jakoś się przyjęło. Kiedy fizycy stają się kąśliwi,

wiadomo, że coś w fundamentalny sposób zaczyna zmieniać nasze rozumienie wszechświata.

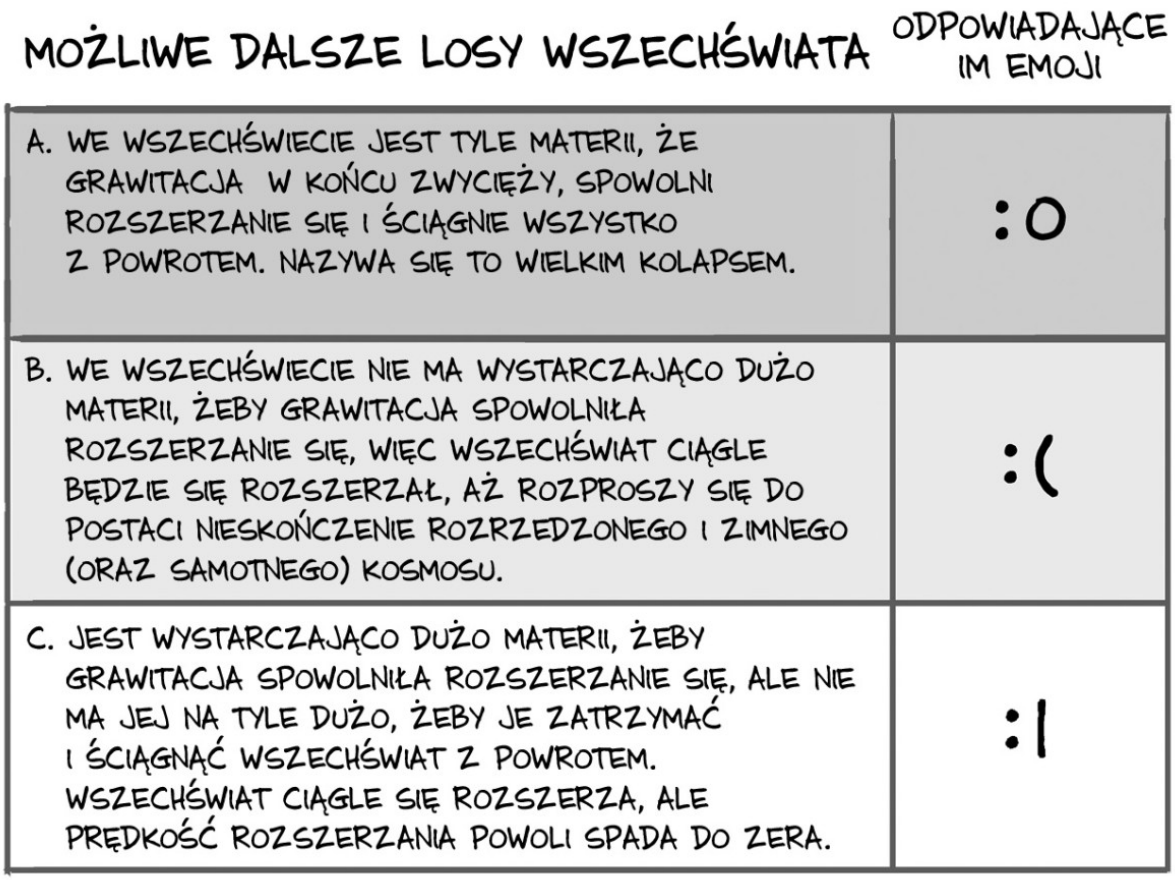
A zatem w 1931 roku astronomowie odkryli, że wszechświat się rozszerza, co oznaczało, że mógł się rozrastać od początkowo bardzo, bardzo[3] gęstego punkcika. (Zauważ, że ten punkcik nie unosił się w jakiejś szerszej przestrzeni, tylko sam był całą przestrzenią. Więcej na temat tego nowego zwariowanego sposobu myślenia o przestrzeni napiszemy w rozdziale 7). Pojawiło się jeszcze trochę teorii na temat innego niż Wielki Wybuch początku wszechświata. Były one zgodne z odkrytym rozszerzaniem się kosmosu, ale wymagały nieustannego tworzenia nowej materii, by rozszerzający się wszechświat zachował obecną gęstość.

Założenie, że wszechświat miał początek, każe się nam od razu zastanowić nad tym, czy będzie miał koniec. Co mogłoby położyć kres temu ogromnemu, majestatycznemu i niezwykle dziwnemu miejscu? A co najważniejsze, czy zdążysz skończyć pisać tę powieść, nad którą od zawsze pracujesz?

Co mogłoby być przyczyną końca wszechświata? Odpowiedź przynosi nasza stara dobra znajoma – grawitacja.

Jak pamiętasz, wszystko, co jest we wszechświecie, wystrzeliło w kosmicznej eksplozji Wielkiego Wybuchu i rozchodzi się coraz dalej od siebie, podczas gdy grawitacja działa w przeciwnym kierunku. Każda cząstka materii we wszechświecie doznaje działania grawitacji, która ze

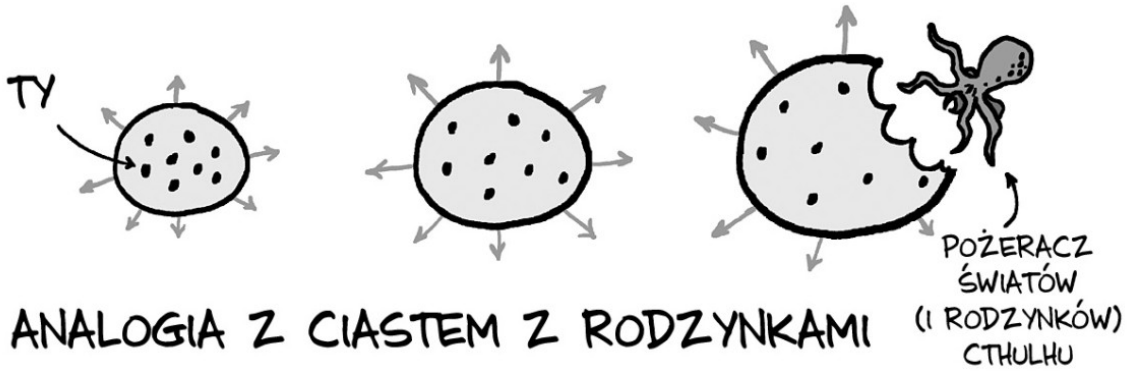
wszystkich sił stara się ściągnąć wszechświat z powrotem do wspólnego miejsca. Co to oznacza dla ostatecznego losu wszechświata? Pojawiło się parę pomysłów:



A oto najlepsza część. W rzeczywistości odpowiedź brzmi: żaden z powyższych scenariuszy nie będzie miał miejsca! Choć wydaje się to dziwne, prawdziwa jest tajna czwarta możliwość, którą brali pod uwagę tylko nieliczni naukowcy (bo wydawała się kompletnie zwariowana): *Jakieś niezwykle potężne i tajemnicze oddziaływanie rozszerza samą przestrzeń, dzięki czemu wszechświat rozrasta się coraz szybciej*. Ta czwarta możliwość jest jedyną dającą się pogodzić z tym, co obserwujemy we wszechświecie.

Skąd wiemy, że wszechświat się rozszerza?

Pytanie o los wszechświata wydaje się bardzo ważne, ale spokojnie, możesz się rozluźnić. Przyszłość, o której mówimy, jest od nas odległa o całe miliardy lat – bez względu na to, jaki to będzie scenariusz. Zdążysz skończyć swoją bestsellerową powieść, a nawet dopisać jej dalszy ciąg. Ale ten temat jest dla nas ważny, bo kiedy znajdujemy odpowiedzi na takie ważne pytania, lepiej rozumiemy także funkcjonowanie wszechświata. Rozmyślając na temat takich kwestii, czasem dowiadujemy się czegoś zaskakującego, co potem wpływa na nasze codzienne życie. Pewnie przydaje ci się na przykład funkcja GPS w smartfonie? Stworzenie dokładnego systemu GPS stało się możliwe tylko dlatego, że Einstein zadał sobie pytanie, co się dzieje, kiedy ciała poruszają się z prędkością światła, co na Ziemi nie zdarza się często. Ale to doprowadziło do opracowania teorii względności, bez której GPS nie byłby dokładny.



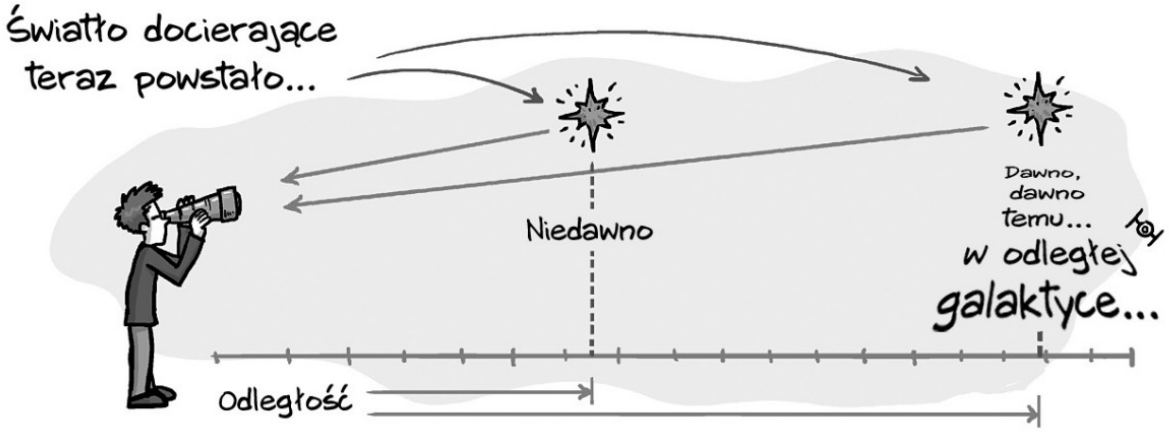
By przewidzieć ostateczny los wszechświata, naukowcy musieli wiedzieć, jak szybko wszechświat się rozszerza. Ustalili to na podstawie pomiaru prędkości, z jaką oddalają się od nas okoliczne galaktyki.

Przede wszystkim trzeba zrozumieć, że w rozszerzającym się wszechświecie wszystko oddala się od siebie nawzajem, a nie tylko od centrum. Wyobraź sobie, że jesteś rodzynkiem w cieście, które ma rozmiary wszechświata. Kiedy ciasto rośnie podczas pieczenia, wszystkie rodzynki oddalają się od pozostałych, ale same w sobie zachowują swoją wielkość.

Ale by poznać los wszechświata, musimy wiedzieć, czy to rozszerzanie się podlega zmianie: czy inne galaktyki oddalają się od nas teraz wolniej, niż robiły to parę miliardów lat temu? Czy może oddalają się od nas szybciej, niż to było przed paroma miliardami lat? Musimy się dowiedzieć, jak prędkość tego rozszerzania zmienia się w czasie. By się o tym przekonać, musimy ustalić, jak szybko wszystko się od nas oddalało w przeszłości, i porównać ten wynik z tym, jak szybko wszystko się od nas oddala teraz.

Patrzenie w przyszłość jest bardzo trudne, za to dla astronomów spoglądanie w przeszłość jest łatwe. Skoro wszechświat jest tak ogromny, a światło ma skończoną prędkość, to dotarcie od odległych przedmiotów do Ziemi zajmuje światłu dużo czasu. To znaczy, że światło z bardzo odległych gwiazd jest bardzo dawnym światłem, a informacja, jaką niesie, jest

również bardzo dawna. Przyglądanie się temu światłu jest jak patrzenie w przeszłość.



I działa to także w drugą stronę. Jeśli kosmici na jakiejś naprawdę dalekiej planecie patrzą na nas przez swoje teleskopy, widzą światło, które opuściło Ziemię dawno temu. Właśnie teraz mogą oglądać ten niezwykle żenujący incydent, który przydarzył ci się przed paroma laty (dobrze wiesz który!).

Wobec tego im dalej położony jest jakiś obiekt, tym dawniejsze światło widzimy i tym głębiej w przeszłość możemy zajrzeć. Znaczy to, że jeśli widzimy odległe obiekty poruszające się z pewną prędkością, a następnie widzimy bliższe obiekty poruszające się z inną prędkością, możemy wywnioskować, że z czasem ich prędkość się zmienia. Możemy zmierzyć prędkość jakiejś dalekiej gwiazdy na podstawie przesunięcia w widmie częstotliwości jej światła przy użyciu tej samej metody (efektu Dopplera), której używa policja, gdy wystawia mandaty za przekroczenie prędkości. Im szybciej gwiazda się od nas oddala, tym bardziej czerwone będzie jej światło.

Określenie, jak bardzo oddalone są różne obiekty w kosmosie, wymagało trochę pomysłowego naukowania[4]. Na przykład jak odróżnić

słabą gwiazdę, która jest blisko, od jasnej gwiazdy, która jest daleko? Przez teleskop wyglądają tak samo: jak małe niewyraźne punkty światła na nocnym niebie. Tak było do czasu, gdy naukowcy zidentyfikowali pewien szczególny rodzaj gwiazd, który z bardzo dużym prawdopodobieństwem zachowuje się tak samo wszędzie we wszechświecie. Z powodu swego rozmiaru i składu te specjalne gwiazdy rosną w tym samym tempie, a kiedy osiągają pewną wielkość, zawsze robią to samo: eksplodują. Albo, by wyrazić się precyzyjniej, implodują, ale implozja jest tak gwałtowna, że generuje towarzyszącą jej wielką eksplozję[5]. Tego typu eksplozja nazywa się supernowa typu Ia. Pożytek z tych supernowych jest taki, że ogólnie mówiąc, wszystkie eksplodują w podobny sposób. Oznacza to, że jeśli po pewnym skalowaniu widzimy wybuch, który jest przyćmiony, to wiadomo, że jest on daleko, jeśli natomiast jest jasny, to wiadomo, że znajduje się blisko. To tak, jakby wszechświat wszędzie poumieszczał te identyczne punkty świetlne, żebyśmy widzieli, jaki jest wielki i cudowny (wszechświat jest tajemniczy, ale skromny to raczej nie).

Astronomowie mówią, że te supernowe typu Ia to „świece standardowe” (ależ oni są romantyczni). Dzięki nim mogli obliczyć, jak daleko znajdują się odległe obiekty (a zatem także jaki jest ich wiek), natomiast dzięki wykorzystaniu efektu Dopplera dowiedzieli się, jak szybko

się poruszają. Co oznaczało, że astronomowie mogli zmierzyć, jak przebiega rozszerzanie się wszechświata.

Wkrótce po tym, jak zdano sobie z tego sprawę, dwa zespoły naukowców zaczęły się ścigać, który jako pierwszy zmierzy tempo rozszerzania się wszechświata. Ale znalezienie supernowych nie jest łatwe, ponieważ są to krótkotrwałe eksplozje. Aby jakąś uchwycić, trzeba bezustannie przeczesywać niebo w poszukiwaniu odpowiednich gwiazd i wyłapywać te, które nagle się rozjaśniają, a potem przygasają. Coś takiego musi chwilkę potrwać.

Oba zespoły zakładały, że rozszerzanie się wszechświata powinno albo zwalniać, albo utrzymywać stałą prędkość. To rozsądne założenie. Jeśli wszechświat eksplodował, a grawitacja stara się ściągnąć wszystko z powrotem do środka, to są tylko dwie możliwości: albo grawitacja zwycięży i ściągnie wszystko z powrotem, albo przegra i wszystko będzie się stale rozszerzać.

Kiedy naukowcy dokonywali pomiarów tych supernowych i obliczali tempo, w jakim wszechświat się rozszerza, spodziewali się, że grawitacja raczej zwycięży. To znaczy: spodziewali się ustalić, że odleglejsze gwiazdy (te w dawniejszej przeszłości) oddalają się szybciej niż gwiazdy bliższe (również bliższe teraźniejszości). Tymczasem wyniki ich skołowały, bo odkryli coś odwrotnego: że obecnie gwiazdy najwyraźniej oddalają się od nas szybciej niż w przeszłości. Innymi słowy, wszechświat rozszerza się teraz szybciej niż dawniej.

Zastanówmy się jeszcze przez chwilę, jak bardzo zaskakujące były te wyniki. Astronomowie mieli w głowie dwie rzeczy: wszechświat, który eksplodował dawno temu, i grawitację, starającą się ściągnąć go z powrotem. Tymczasem pojawił się decydujący trzeci element: rozmiar samej przestrzeni. Ze wszystkimi drastycznymi szczegółami pokażemy to w rozdziale 7, ale przestrzeń nie jest jakimś nieruchomym pustym tłem, na którym odgrywa się sztuki w teatrze wszechświata. Przestrzeń to coś fizycznego, co może się zakrzywiać (w obecności ogromnych obiektów), marszczyć (nazywa się to falami grawitacyjnymi) albo rozszerzać. A wydaje się, że właśnie się rozszerza – i to szybko. Przestrzeń pędzi, chcąc być coraz większa. I coś tworzy tę nową przestrzeń, która rozpycha wszystko we wszechświecie na zewnątrz.

Powinniśmy tu zaznaczyć, że – jak wykazały wyniki badań – najpierw wszystko zwalniało, ale przez ostatnie pięć miliardów lat coś coraz szybciej odpycha poszczególne części eksplodującego wszechświata od siebie nawzajem.

Tę siłę napędową powiększającą w coraz szybszym tempie wszechświat fizycy nazywają ciemną energią. Nie widzimy jej (dlatego jest „ciemna”), a ona rozpycha wszystko na boki (dlatego nazywa się ją „energią”). I robi to

z tak olbrzymią siłą, że – jak się szacuje – ciemna energia stanowi 68 procent całkowitej masy i energii we wszechświecie.

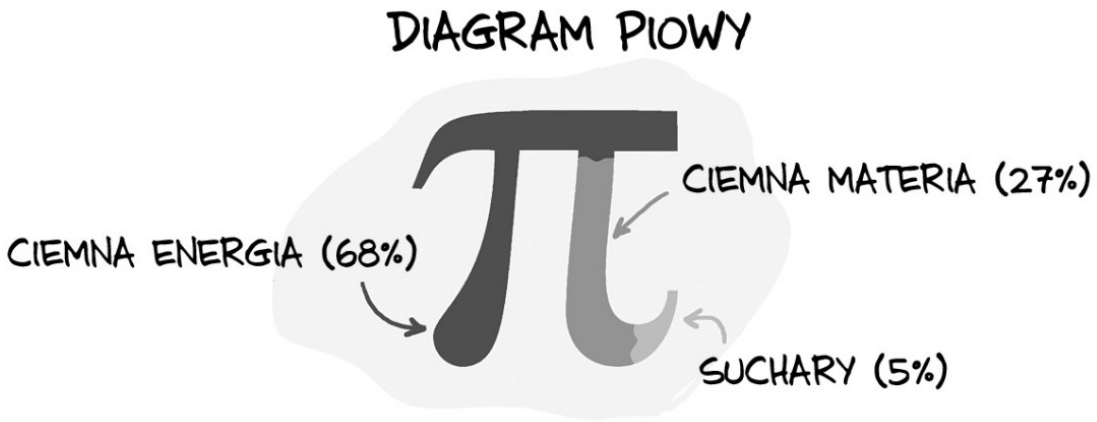


Diagram kołowy

Cały czas podajemy bardzo dokładne liczby w naszym diagramie kołowym wszechświata. Pięć procent może wyglądać na wielkość przybliżoną, ale kiedy się słyszy na przykład: 27 procent ciemnej materii i 68 ciemnej energii, to człowiek wyobraża sobie, że fizycy ustalili te liczby przy użyciu jakichś lepszych metod niż na zwykłe chybił trafił.

A więc skąd wiemy, ile ciemnej materii i ciemnej energii jest we wszechświecie?

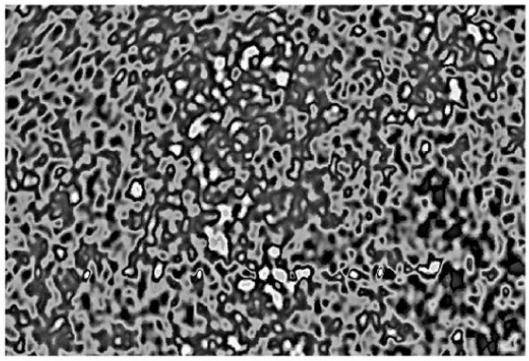
Jeśli chodzi o ciemną materię, nie można po prostu zmierzyć wszystkich jej kawałków, korzystając z narzędzi, o których czytaliśmy wcześniej (soczewkowania grawitacyjnego i wirujących galaktyk) oraz zsumować wyników. Nie zawsze ułożenie gwiazd i ciemnej materii pozwala na zastosowanie tych metod, więc może się zdarzyć, że ciemna materia będzie skrywać się w miejscach, w których nie potrafimy jej znaleźć[6].

A co do ciemnej energii, to tak naprawdę nie wiemy, czym ona jest, więc także nie potrafimy jej zmierzyć bezpośrednio.

Biorąc pod uwagę, że nie rozumiemy, czym są te badane przez nas zjawiska, osiągnęliśmy imponujący efekt: udało nam się zmierzyć te procenty na kilka różnych sposobów. I jak dotąd wszystkie wyniki zdają się ze sobą zgadzać.

Najdokładniejszy sposób na ustalenie, ile ciemnej materii i ciemnej energii występuje we wszechświecie, opiera się na analizie zdjęcia wszechświata w fazie noworodka: jego fotografii z okresu, gdy był jeszcze taki malusi i milusi[7].

W dalszych rozdziałach opowiemy, jak zrobiono to noworodkowe zdjęcie wszechświata i co ono przedstawia, a teraz niech ci wystarczy, że taka fotka w ogóle istnieje. To zdjęcie mikrofalowego promieniowania tła i wygląda mniej więcej tak:



No dobrze, nie jest aż tak słodziusi. W rzeczywistości jest czymś jakby pokrytym grudkami i zmarszczkami (jak większość noworodków). To zdjęcie pokazuje pierwsze fotony, które uniknęły początkowych faz formowania się wszechświata. Istotne jest to, że o liczbie zmarszczek

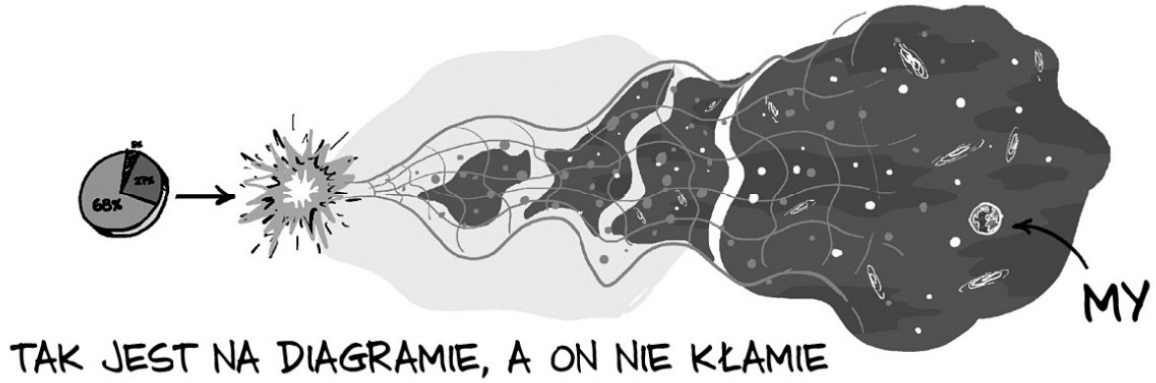
i kształcie wzorów, w jakie się układają na zdjęciu, decyduje proporcja ciemnej materii, ciemnej energii i zwykłej materii we wszechświecie. Innymi słowy, jeśli zmieni się te proporcje, to wzorki na fotografii będą wyglądały inaczej. Okazuje się, że do powstania takich wzorków, jakie widzimy na zdjęciu, potrzeba mniej więcej 5 procent zwykłej materii, 27 procent ciemnej materii i 68 procent ciemnej energii. Każde inne zestawienie dałoby inny obraz od tego, który obserwujemy.

Innym sposobem, w jaki udało nam się zmierzyć ilość ciemnej energii, jest analiza tempa rozszerzania się wszechświata, które znamy dzięki świecom standardowym, czyli supernowym. Wiemy, że ciemna energia rozpycha wszystko na zewnątrz z coraz większą prędkością. Na podstawie naszych szacunków ilości materii i ciemnej materii potrafimy obliczyć, ile ciemnej energii potrzebne by było do takiego rozszerzania się, a to daje nam oszacowanie ilości istniejącej ciemnej energii.

I wreszcie możemy ustalić proporcje ciemnej materii, ciemnej energii i zwykłej materii dzięki analizie struktury wszechświata, jaki dziś widzimy. Wszechświat jest uporządkowany w postaci bardzo konkretnej konfiguracji gwiazd i galaktyk. Wykorzystując symulację komputerową, możemy cofnąć się od obecnego stanu do momentu tuż po Wielkim Wybuchu, by zobaczyć, ile ciemnej materii i ciemnej energii było potrzebne, by wszystko wyglądało tak, jak to jest dzisiaj. Na przykład jeśli do symulacji przyjęto by niewłaściwą ilość ciemnej materii, to galaktyki nie miałyby tego samego kształtu co widoczne na naszym niebie i nie pojawiłyby się wtedy, kiedy wiemy, że powstały. Z powodu swojej olbrzymiej masy i siły grawitacji ciemna materia pomaga normalnej materii zbijać się w skupiska w taki sposób, którego wymagało tak wczesne ukształtowanie się galaktyk. Jednocześnie gdyby próbować wyjaśnić całą energię we wszechświecie w kategoriach wyłącznie materii i ciemnej materii, bez uwzględnienia

ciemnej energii (tzn. gdyby przyjąć, że ciemna materia to 95 procent), to galaktyki również nie pojawiłyby się poprawnie.

Niesamowite jest to, że wszystkie te metody zgadzają się ze sobą.



Wszystkie one pokazują, że nasz wszechświat stanowi połączenie zwykłej materii, ciemnej materii i ciemnej energii w proporcjach, które z grubsza wynoszą odpowiednio: 5 procent, 27 procent i 68 procent. Chociaż nie wiemy, czym są wszystkie te poszczególne elementy, możemy powiedzieć z całkiem sporą dozą pewności, że wiemy, ile każdego z nich jest. Nie mamy pojęcia, czym są, ale wiemy, że są. Witamy w epoce precyzyjnej ignorancji.

Czym mogłaby być ciemna energia?

Pokazaliśmy, jak odkryto ciemną energię i ile jej jest, ale czym ona jest? Najkrócej mówiąc, nie mamy pojęcia. Wiemy, że to jakaś siła, która obecnie rozszerza wszechświat. Wpływa na wszystko, co jest materią we wszechświecie, i rozpycha to na zewnątrz. Właśnie teraz pcha mnie, pcha ciebie i pcha wszystko, o czym wiemy, odpychając to od siebie nawzajem[8]. I nie wiemy, czym ona jest.

Jeden z popularnych obecnie pomysłów głosi, że ciemna energia pochodzi z energii pustej przestrzeni. Tak, pustej przestrzeni.

Kiedy mówimy, że coś jest puste, rozumiemy przez to, że nie ma tam „żadnych rzeczy”. Ujmując to bardziej formalnie, myślimy o tym jako o czymś niemającym żadnych rzeczy w sobie. Istnieją takie miejsca w przestrzeni międzygalaktycznej, w których po prostu nie ma żadnych cząstek materii (ani nawet ciemnej materii). A teraz zastanów się nad czymś takim: co by było, gdyby ta pusta przestrzeń miała w sobie energię, coś jak żarzenie się albo niskie buczenie, nawet jeśli nie ma w sobie materii? Po prostu miałaby energię, zgromadzoną w niej bez żadnego wyraźnego powodu. Gdyby tak było, to ta energia mogłaby wyjaśniać efekt grawitacyjny, który rozpycha wszechświat na zewnątrz.

Może to brzmieć dziwnie, ale takie jest prawdziwe i zaskakująco rozsądne wyjaśnienie. W rzeczywistości w mechanice kwantowej jest czymś całkiem naturalnym, że istnieje energia próżni. Zgodnie z mechaniką kwantową świat funkcjonuje zupełnie inaczej w wypadku bardzo małych obiektów (takich jak cząstki) niż w wypadku większych obiektów (takich jak ludzie czy korniszony). Obiekty kwantowe mogą robić rzeczy, które dla korniszonów byłyby mało sensowne, na przykład nie mieć dokładnie określonego położenia, pojawiać się po drugiej stronie nieprzepuszczalnych barier i zachowywać się w różny sposób w zależności od tego, czy są przedmiotem obserwacji czy nie. Według fizyki kwantowej cząstki mogą też przechodzić do istnienia – prosto z energii pustej skądinąd przestrzeni – i ponownie tam wracać, przestając istnieć jako cząstki.

W końcu to właśnie mechanika kwantowa dała nam inne spojrzenie na rzeczywistość, a teoria względności sprawiła, że porzuciliśmy wyobrażenie absolutnej przestrzeni i czasu. Dlaczego zatem nie mielibyśmy przyjąć, że to, co wydaje się pustą przestrzenią, jest pełne energii próżni, która rozpycha wszechświat?

Pewien problem z tą teorią polega na tym, że kiedy naukowcy próbują obliczyć, ile energii powinna mieć pusta przestrzeń zgodnie z mechaniką kwantową, uzyskują zbyt wysoki wynik. I to nie tylko odrobinę zbyt wysoki, lecz od 10^{60} do 10^{100} razy za wysoki. To gugol razy za dużo (wygugluj to sobie)! Dla porównania szacunkowa liczba cząstek w całym wszechświecie wynosi tylko 10^{85}. Słusznie więc można powiedzieć, że gdybyśmy kupili ten pomysł, lekko byśmy przestrzelili.

Inne pomysły przyjmują istnienie jakichś nowych sił lub specjalnych pól, które przenikają przestrzeń, tak samo jak przenika ją pole elektromagnetyczne. Co do niektórych z tych pól uznaje się, że są zmienne w czasie, by móc wyjaśnić, dlaczego przyspieszenie rozszerzania się wszechświata zaczęło się dopiero pięć miliardów lat temu. Istnieje mnóstwo różnych wersji tych teorii, ale ich wspólną cechą jest to, że trudno

je sprawdzić. W końcu część z tych pól może nie oddziaływać z naszymi cząstkami, co utrudnia zaprojektowanie eksperymentu umożliwiającego ich wykrycie. Z częścią z tych pól mogą się też wiązać jakieś nowe cząstki (na przykład pole Higgsa ma bozon Higgsa), ale te cząstki mogą być bardzo, bardzo ciężkie, przez co byłyby zdecydowanie poza zasięgiem tego, co potrafimy współcześnie zmierzyć. Jak ciężkie? Cięższe niż jakiekolwiek inne, które widzieliśmy dotychczas, ale nie aż tak ciężkie jak twój kot.

Wszystkie te pomysły są dopiero w powijakach. To zaledwie początkowe protopomysły, które będą prowadzić naukowców do lepszych wyobrażeń, aż w końcu zrozumiemy, jak to jest z tą energią, której we wszechświecie jest najwięcej. W porównaniu z ciemną energią ciemna materia wygląda na coś bardzo prostego i łatwego do zrozumienia: przynajmniej wiemy, że to materia. Ciemna energia mogłaby być niemal dosłownie wszystkim. Jeśli jakaś pani naukowiec za pięćset lat rzuci okiem wstecz, nasze obecne wyobrażenia na temat ciemnej energii zapewne wydadzą się jej komiczne – tak jak dziś osobliwe wydają się nam sposoby, w jakie dawniej ludzie wyjaśniali gwiazdy, Słońce albo pogodę jako skutki działań bogów ubranych w dziwne szaty. Bo wiemy tylko tyle, że istnieją jakieś potężne siły przekraczające nasze rozumienie i że wiele jeszcze musimy się o wszechświecie dowiedzieć.

Co to oznacza, jeśli chodzi o przyszłość?

Jeśli wszechświat rozszerza się coraz szybciej z powodu ciemnej energii, oznacza to, że wszystko oddala się od nas codziennie trochę szybciej. Ponieważ rozszerzanie się wszechświata nabiera prędkości, obiekty bardzo od siebie odległe w końcu będą się od siebie oddalać z prędkością większą niż prędkość światła. Znaczy to, że światło pochodzące od gwiazd nie będzie już w stanie do nas dotrzeć. Nawet dziś na nocnym niebie widzimy mniej gwiazd niż wczoraj. Jeśli pójść dalej, to naturalną konsekwencją tego rozszerzania będzie fakt, że za miliardy lat na nocnym niebie pozostanie tylko kilka widocznych gwiazd. A jeszcze później niebo w nocy może być niemal całkowicie ciemne.

Wyobraź sobie, że jesteś naukowcem na tej przyszłej Ziemi. Jak mógłbyś się domyślić istnienia gwiazd i galaktyk, których byś nie widział? [9] Gdyby rozszerzanie się wszechświata trwało nadal, mogłoby w końcu doprowadzić do rozerwania naszego Układu Słonecznego, naszej planety, a nawet do wyrwania smartfonów z rąk twoich pra^{n}-prawnuków. Z drugiej

strony skoro tak mało wiemy o tym, co napędza owo rozszerzanie się, to może się też zdarzyć, że w przyszłości jego prędkość spadnie.

W świetle powyższego nasuwa się refleksja: jeśli kiedyś gwiazd widocznych dla nas było więcej niż dzisiaj, to jakich faktów, które niegdyś były oczywiste, nie zauważamy tylko dlatego, że pojawiliśmy się na tej imprezie dopiero prawie czternaście miliardów lat po jej rozpoczęciu?

---

[1] Być może nie ma co żałować – w tamtejszej stołówce mają strasznie dziwne jedzenie.

[2] Tak naprawdę to prawie dowolną. Ktoś już zajął nazwę „ciemna strona”.

[3] Nie sposób tu wypisać tylu „bardzo”, ile trzeba, by wyrazić, jak gęsty był ten punkcik. To był cały wszechświat zagęszczony w jednym punkcie.

[4] Zgadza się, skróciliśmy opis, robiąc ze słowa „nauka” czasownik „naukować” i tworząc od niego rzeczownik odsłowny. Całkiem naukowo, zwłaszcza gdy trzeba dodać do tego przypis.

[5] Astronomia: więcej eksplozji niż w filmie Michaela Baya.

[6] Razem z wszystkimi twoimi zgubionymi skarpetkami i zawieruszonymi kluczami.

[7] Zawsze warto powiedzieć coś miłego temu, co cię stworzyło.

[8] To wcale nie miłość nas rozszarpuje; to ciemna energia.

[9] Jeśli chcesz pooglądać gwiazdy, lepiej nie przesuwaj tego wyjazdu za miasto o kolejny miliard lat.

4

Co jest najbardziej podstawowym elementem materii?

Zobaczysz, jak mało rozumiemy na temat najmniejszych drobinek, jakie można zobaczyć

Kiedy ktoś dowiaduje się, że cała ludzka wiedza i nauka dotyczą tylko 5 procent wszechświata, które nazywamy „normalną materią”, może to wywołać kilka różnych reakcji. Na przykład sprawić, że człowiek:

a. poczuje się mały, upokorzony, a nawet trochę przerażony
b. zacznie ze wszelkich sił zaprzeczać
c. dozna radosnego podniecenia na myśl o wszystkim tym, czego możemy się jeszcze dowiedzieć na temat wszechświata
d. tym chętniej będzie czytał dalej tę książkę[1].

Jeśli twoją reakcją jest odczucie upokorzenia i przerażenia, mamy dla ciebie dobrą wiadomość. Większość niniejszego rozdziału zamierzamy

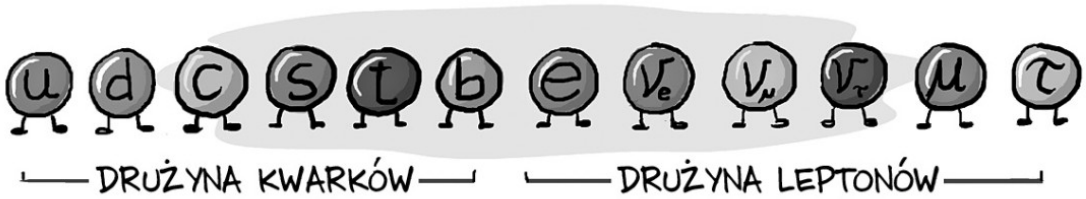
poświęcić opowiadaniu o normalnej materii. Tak przy okazji: gdyby ciemna materia faktycznie miała swoją ciemną fizykę, ciemną chemię, ciemną biologię i – co za tym idzie – fizyków z ciemnej materii, wówczas oni zapewne twierdziliby, że to ich materia jest „normalna”. Może rzeczywiście powinieneś czuć się nieco upokorzony.

Mamy też dla ciebie złą wiadomość. O tych 5 procentach, o których coś wiemy, nie wiemy wcale wszystkiego, co wiedzieć można.

Dla wielu z was może to być zaskoczenie. Jesteśmy przecież na tej Ziemi zaledwie od kilkuset tysięcy lat, a mimo to w kategoriach nauki całkiem nieźle sobie radzimy. Tak naprawdę ma się ochotę powiedzieć, że opanowaliśmy swój kącik wszechświata. Stworzyliśmy i używamy dziś tylu odlotowych wynalazków, by mieć pokusę uznać, że naukę dotyczącą zwykłej materii rozgryźliśmy całkiem nieźle. Umiemy w dowolnym miejscu i czasie całymi godzinami nadawać kiepskie programy telewizyjne. No a to przecież bez dwóch zdań kamień milowy w rozwoju każdej cywilizacji.

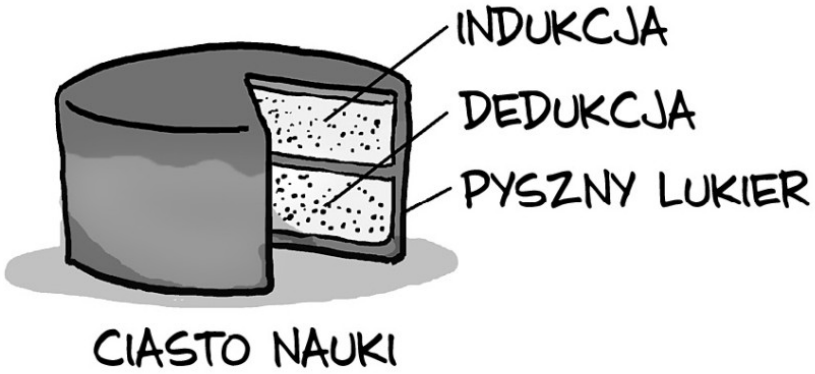
Co ciekawe, to stwierdzenie jest jednocześnie prawdziwe i nieprawdziwe (chodzi o to, że dobrze rozgryźliśmy otaczającą nas rzeczywistość, a nie że możemy oglądać różne reality show w trybie 24/7).

Prawdą jest, że o zwykłej materii wiemy bardzo wiele rzeczy. Ale też prawdą jest, że bardzo wielu rzeczy o zwykłej materii nie wiemy. W szczególności nie mamy pojęcia, po co w ogóle istnieją niektóre cząstki (drobinki materii). Otóż obecnie znajdujemy się w takim miejscu: w trakcie zwykłego badania zjawisk fizyki odkryliśmy dwanaście cząstek materii. Sześć z nich nazywamy kwarkami, a pozostałe sześć – leptonami.



Jednak po to, by zbudować wszystko, co cię otacza, wystarczą tylko trzy z tych dwunastu: kwark górny, kwark dolny i elektron (jeden z leptonów). Pamiętaj, że z kwarków górnych i dolnych można stworzyć protony i neutrony, a jeśli dodać do tego elektron, można zbudować dowolny atom. Więc po co istnieje pozostałych dziewięć cząstek? Co komu po nich? Nie mamy pojęcia.

Dlaczego to taka zagadka? Cóż, wyobraź sobie, że upiekłeś właśnie wspaniałe ciasto. Skończyłeś, ozdobiłeś i spróbowałeś, jak smakuje (nawiasem mówiąc, pycha! Jesteś świetnym cukiernikiem!), po czym nagle odkryłeś, że na blacie zostało dziewięć nietkniętych składników. Kto je tu położył? Miałeś ich do czegoś użyć? A w ogóle kto wymyślił ten przepis?



Prawda jest taka, że nasz brak wiedzy na temat zwykłej materii (tych 5 procent) dotyczy spraw dużo głębszych niż ciasto z cząstek.

Podsumujmy: rozumiemy, w jaki sposób można łączyć trzy cząstki (kwarki górne, kwarki dolne i elektrony), by zbudować dowolnego rodzaju atom. Wiemy też, jak używać atomów do tworzenia cząsteczek i jak cząsteczki mogą tworzyć złożone obiekty, takie jak ciastka i słonie. Ale to wszystko to tylko odpowiedzi na pytania o „jak”: wiemy, jak poszczególne rzeczy do siebie pasują, i wiemy, jak je ze sobą łączyć. Wiemy to tak dobrze, że potrafimy zrobić wszystko: od bielizny pochłaniającej pot po teleskopy kosmiczne. Jesteśmy niesamowici, prawda?[2]

Tym, co sprawia nam spory kłopot, są odpowiedzi na pytanie „dlaczego?”. Dlaczego rzeczy są połączone ze sobą właśnie w taki sposób? Dlaczego nie są ze sobą połączone inaczej? Czy to jedyna wersja spójnego wszechświata, czy też istnieje jeszcze 10^{500} różnych wersji, jak proponują to zwolennicy teorii strun?

Nie znamy jeszcze na podstawowym poziomie powodu, dla którego wszystkie elementy we wszechświecie do siebie pasują. To jak muzyka: umiemy tworzyć muzykę, tańczymy do niej, wszyscy do niej śpiewają, ale nie wiemy, dlaczego muzyka tak działa, że się przy niej bawimy. Tak samo jest ze wszechświatem: wiemy, że działa, ale nie wiemy dlaczego.

Ktoś może twierdzić, że takie wyjaśnienie nie istnieje albo że jeśli istnieje, być może nigdy nie będziemy w stanie go poznać, nie mówiąc już o jego zrozumieniu. Omówimy to w rozdziale 16, chodzi jednak o to, że dzisiaj na pewno nie mamy tej wiedzy.

A teraz, zakładając, że jesteś osobą ciekawą świata i naprawdę chcesz się dowiedzieć, dlaczego to i tamto[3], możemy uznać, że być może zastanawiasz się, jak odpowiedzieć na to pytanie i co ono ma wspólnego z odkrytymi przez nas bezużytecznymi cząstkami.

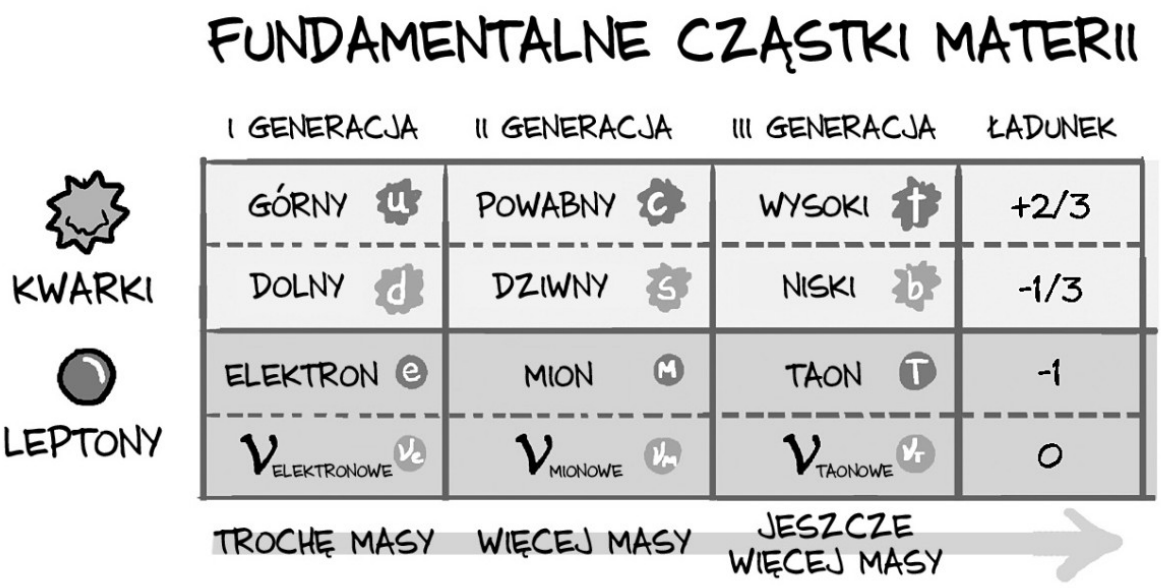
A więc tak: jeśli chcemy zrozumieć zasadnicze „dlaczego” wszechświata, to najpierw musimy rozgryźć, jak wygląda wszechświat na najgłębszym, najbardziej fundamentalnym poziomie. Oznacza to, że musimy rozkładać wszechświat na mniejsze elementy, aż nie będziemy już w stanie robić tego dalej. Jaka jest najmniejsza, najbardziej podstawowa drobinka rzeczywistości? Jeśli ta drobinka to jakaś cząstka, to chcemy znaleźć cząstki, które tworzą cząstki, które tworzą cząstki, które tworzą cząstki i tak dalej aż do nieskończoności (albo aż do zwymiotowania – zależy, co będzie pierwsze).

Kiedy już znajdziesz takie elementarne cząstki, będziesz je mógł następnie zbadać i być może rozgryziesz, dlaczego wszystko działa tak, jak działa. Byłoby to coś w rodzaju znalezienia najmniejszych klocków Lego we wszechświecie Lego. Gdybyś je znalazł, wiedziałbyś, jak wygląda podstawowy system, zgodnie z którym wszystko jest ze wszystkim powiązane. Dowiedziałbyś się czegoś głębokiego i prawdziwego o rzeczywistości, w tym także (mamy nadzieję) o ciemnej energii i ciemnej materii.

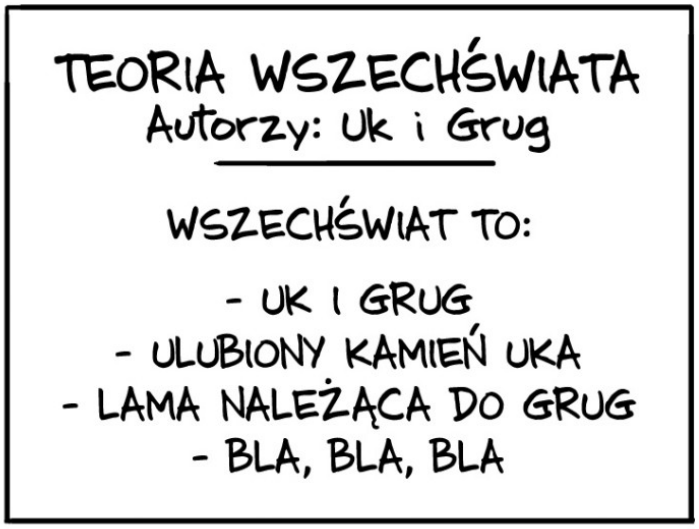
Obecnie nie mamy pewności, czy znamy wszechświat aż do obecnego w nim najmniejszego możliwego rozmiaru. A nawet jeśli tak jest, nie za bardzo wiemy, co zrobić z odkrytymi klockami Lego. Ale mamy przynajmniej mapę – i to jest ekscytujące! Mamy niedokończoną krzyżówkę na temat wszechświata, a ta krzyżówka bardzo przypomina coś, co już widzieliśmy: wygląda jak układ okresowy.

Układ okresowy cząstek fundamentalnych

Po mniej więcej stuleciu roztrzaskiwania wszystkiego wkoło fizycy ustalili, że z dwunastu fundamentalnych cząstek materii można stworzyć układ w formie tabeli, która wygląda mniej więcej tak:



Zatrzymajmy się na chwilę, by sobie uświadomić, jakie to ważne, że dotarliśmy do tego punktu. Jak pamiętasz, jaskiniowi fizycy Uk i Grug mieli taką oto początkową teorię wszechświata[4]:



Dawało to pełny obraz, ale nie było użyteczne, bo w tym opisie nie było nic fundamentalnego ani wnikliwego, a jedynie stwierdzenie oczywistości.

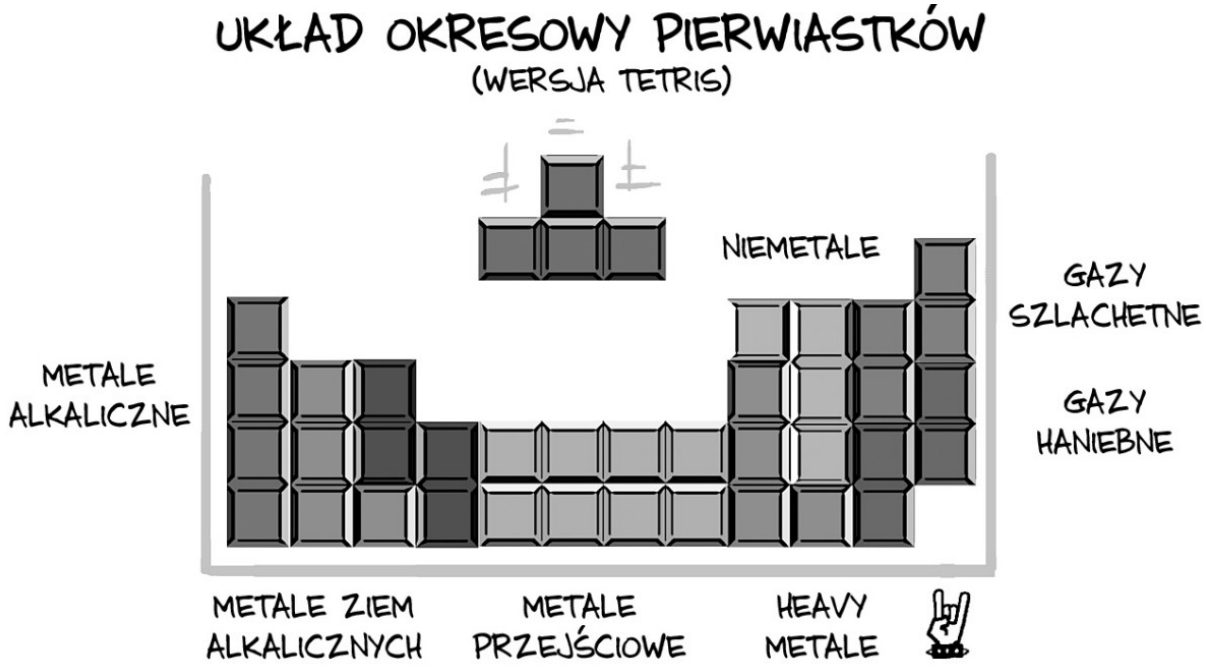
W późniejszym okresie Grecy wpadli na pomysł, że wszystko składa się z czterech żywiołów: wody, ziemi, powietrza i ognia. Ich strzał był kompletnie chybiony, ale przynajmniej zrobili krok we właściwym kierunku, bo starali się uprościć opis świata.

Potem odkryliśmy pierwiastki i ustaliliśmy, że kamienie i ziemia, i woda, i lamy – że to wszystko składa się z niewielkiego zestawu różnego rodzaju atomów. Jeszcze później ustaliliśmy, że nawet atomy składają się z mniejszych cząstek, a niektóre z nich składają się z jeszcze mniejszych cząstek (kwarków). Najważniejszą lekcją, jaką z tego wszystkiego wynieśliśmy, jest to, że atomy i lamy nie są elementarnymi składnikami wszechświata. Jeśli istnieje jakieś zasadnicze równanie wszechświata – czymkolwiek on jest – możemy być pewni, że nie ma w nim zmiennej o nazwie N_{lam}, ponieważ lamy, podobnie jak atomy, nie są fundamentalnym elementem wszechświata. Nie określają one jego zasadniczej natury; są tylko ogólnym wynikiem głębszej rzeczywistości (czy też zjawiskiem emergentnym – wyłaniającym się, wynikającym z niej), tak samo jak tornada są zjawiskiem wynikającym z wiatru albo gwiazdy są zjawiskiem wynikającym z gazu i grawitacji. Wybaczcie, drogie lamy, ale takie są fakty.

Organizowanie tego, co wiemy (i czego nie wiemy) w układy i tabele pomaga nam zauważyć ewentualne prawidłowości i brakujące elementy.

Wyobraź sobie przez chwilę, że jesteś naukowcem w XIX wieku (tak, możesz sobie wyobrazić, że nosisz te śmieszne okulary) i nie wiesz jeszcze, że w rzeczywistości atomy składają się z mniejszych elementów: elektronów, protonów i neutronów. Gdybyś ułożył to, co znasz, w układ okresowy pierwiastków, zauważyłbyś kilka ciekawych rzeczy.

Zauważyłbyś, że pierwiastki po jednej stronie układu okresowego są bardzo reaktywne, podczas gdy te po drugiej stronie są prawie całkowicie obojętne; oraz że grupy pierwiastków znajdujących się niedaleko od siebie mają podobne właściwości, na przykład metale, oraz że niektóre pierwiastki trudniej znaleźć niż inne.



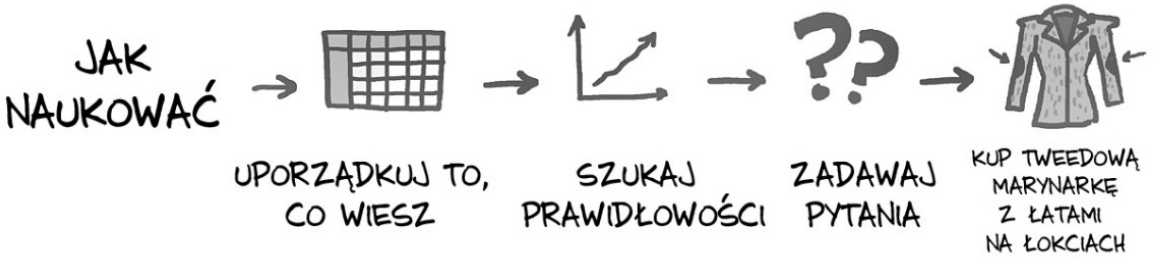
Wszystkie te ciekawe prawidłowości stanowiłyby dla ciebie przesłankę, że układ okresowy wcale nie jest fundamentalnym opisem wszechświata. Sugerują one, że jest jeszcze coś głębszego. To tak, jakbyś spotkał grupę rodzeństwa i zauważył pewne podobieństwa między nimi. Chociaż wszyscy są różni, jednak na podstawie ich wyglądu lub zachowania mógłbyś zakładać, że pochodzą od tych samych dwojga rodziców. Tak samo

naukowcy przyglądali się pierwszym wersjom układu okresowego, dostrzegali w nim pewne prawidłowości i zastanawiali się: „Zaraz, zaraz, o co tu chodzi?”.

Teraz wiemy już, że te prawidłowości w układzie okresowym wynikają z układu orbitali elektronów, wiemy też, że każdemu miejscu w układzie okresowym odpowiada jeden pierwiastek oraz że niektóre pierwiastki są rzadsze od innych, ponieważ ulegają rozpadowi promieniotwórczemu. Wszystko polega na połączeniu ze sobą właściwej liczby neutronów, protonów i elektronów – w ten sposób może powstać każdy pierwiastek.

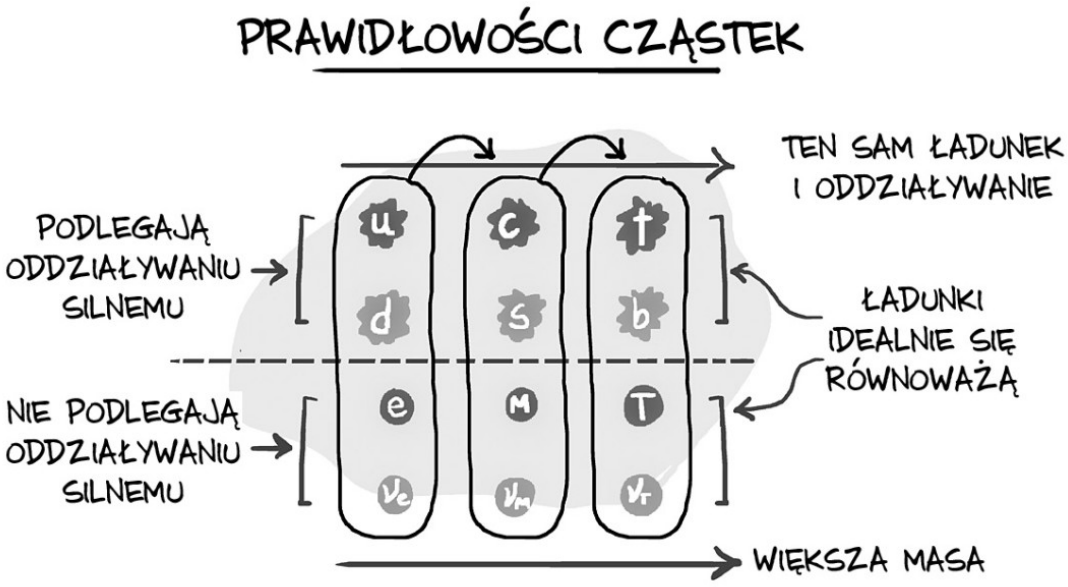
Chodzi teraz o to, że uporządkowaliśmy wiedzę, którą wówczas mieliśmy, i uważnie ją przeanalizowaliśmy. Wtedy zaczęliśmy dostrzegać prawidłowości i brakujące elementy, a to doprowadziło nas do stawiania właściwych pytań, które z kolei sprawiły, że lepiej rozumiemy sposób funkcjonowania wszechświata.

Stworzenie układu fundamentalnych cząstek materii (tego z kwarkami i leptonami) zajęło większą część XX wieku. Nazywamy te cząstki fundamentalnymi dlatego, że jak dotąd nie udało nam się dostrzec, by składały się z jeszcze mniejszych cząstek. Tak naprawdę nie mamy dowodu na to, że są to najbardziej podstawowe klocki we wszechświecie, ale są to najmniejsze drobinki czegokolwiek, jakie (dotychczas) widzieliśmy.



Jeśli prześledzisz układ cząstek na stronie 59, zauważysz, że również tam występują pewne ciekawe prawidłowości. Przede wszystkim możesz

zwrócić uwagę, że są dwa rodzaje cząstek materii: kwarki i leptony. Wiemy, że się różnią, bo kwarki podlegają oddziaływaniu silnemu, natomiast leptony nie. Poza tym możesz dostrzec, że wszystkie cząstki składające się na zwykłą materię znajdują się w pierwszej kolumnie. Są to: kwark górny, kwark dolny i elektron. W tej pierwszej kolumnie jest jeszcze czwarta cząstka, zwana neutrinem elektronowym (ν_e), która mknie przez kosmos jak zjawa, w zasadzie nie za bardzo oddziałując z czymkolwiek innym.



Ale chwileczkę, to nie wszystko! Oprócz tych czterech są jeszcze inne cząstki i one też są uporządkowane w kolumnach. Każda kolumna wygląda dokładnie tak samo jak pierwsza (z tymi samymi właściwościami, czyli ładunkiem i oddziaływaniem) z tą tylko różnicą, że znajdujące się w nich cząstki mają większą masę[5]. Każdą z tych kolumn nazywamy „generacją” i takich generacji odkryliśmy trzy.

Od razu mogą ci przyjść do głowy pewne pytania na temat naszego układu cząstek:

• Co to znowu za układ?
• Po co są te wszystkie cząstki?
• Jaka prawidłowość rządzi masą cząstek?
• O co chodzi z tymi ładunkami elektrycznymi po 1/3?
• Czy jest więcej cząstek?

Te pytania są najzupełniej naturalne. A chociaż niektórym cała ta tajemnica może wydawać się przerażająca, warto wziąć głębszy wdech. Pamiętaj, że nasza strategia polega na porządkowaniu tego, co wiemy, a następnie szukaniu prawidłowości i luk, które możemy wykorzystać do stawiania właściwych pytań. Mamy nadzieję, że zadawanie właściwych pytań doprowadzi nas do głębszego zrozumienia, o co w tym wszystkim chodzi.

Kilkadziesiąt lat temu ten układ cząstek fundamentalnych był niepełny. Kilku kwarków i leptonów jeszcze nie odkryto. Ale fizycy patrzyli na prawidłowości w układzie i wykorzystywali je do poszukiwań brakujących cząstek. Na przykład wiele lat temu naukowcy przewidzieli, że musi być szósty kwark, bo w tabeli było puste miejsce. Chociaż wtedy jeszcze go nie odkryto, pewność jego istnienia była tak wielka, że włączono go jako rzecz oczywistą do wielu podręczników, podano też jego przewidywaną masę. Po dwudziestu latach w końcu znaleziono ten kwark, nazwany kwarkiem t (właściwie to znaleziono nie do końca ten kwark – bo jego masa była dużo wyższa, niż oczekiwano, co wyjaśnia, dlaczego tyle czasu zajęło jego poszukiwanie, oraz co znaczyło, że należało poprawić wszystkie te podręczniki).

A zatem fizycy tak właśnie postępowali, by uzupełnić dziury i analizować prawidłowości w tej ważnej tabeli. W ciągu ostatnich kilku

dziesięcioleci zgromadziliśmy trochę odpowiedzi, a w niektórych wypadkach jeszcze więcej pytań.

Po co są te wszystkie cząstki?

Jedno wiemy na pewno: są tylko trzy generacje cząstek. Istnienie czwartej generacji wykluczono w powodu odkrycia bozonu Higgsa (wszystko, czego potrzebuje twój bozon Higgsa, omawiamy w rozdziale 5). Ale co to znaczy? Czy trójka to jakaś podstawowa liczba we wszechświecie? Gdybyś miał ostatecznie podać jedno równanie, które opisuje wszystko we wszechświecie, czy byłaby w nim liczba trzy? Katolicy mają upodobanie do trójki, ale matematycy i teoretycy nie aż tak bardzo; lubią takie liczby jak zero, jeden, π, może też *e*. Ale trójka? Nie widzą w niej niczego wyjątkowego.

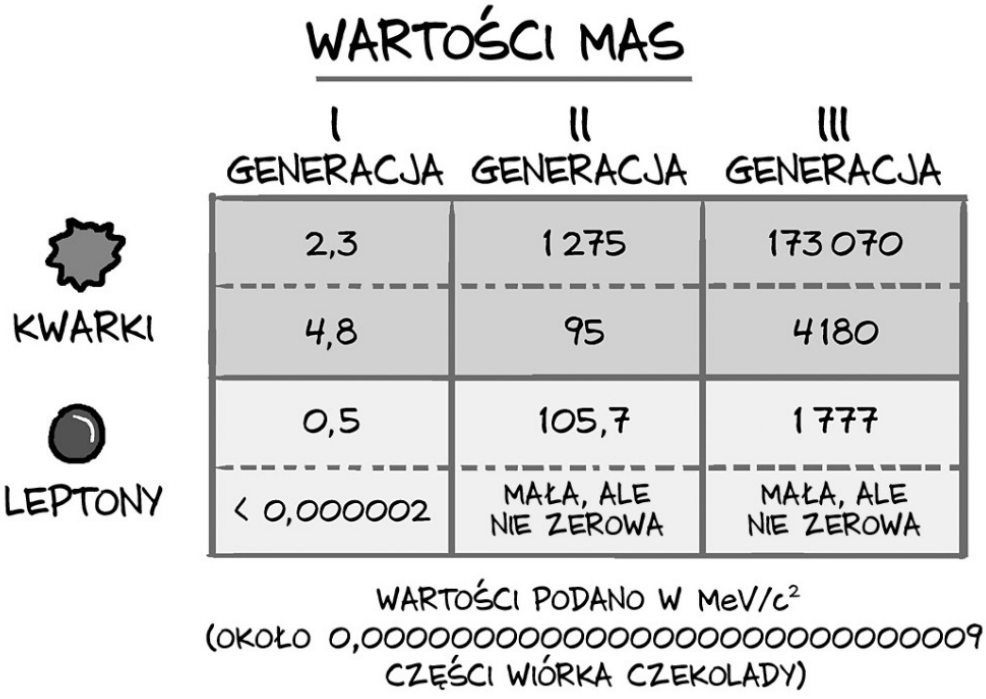
Co by to mogło znaczyć? Nie mamy zielonego pojęcia. Dosłownie nie mamy żadnych pomysłów. Nie istnieją żadne wielkie konkurujące ze sobą wyjaśnienia liczby generacji cząstek. Całkiem możliwe, że jest to zjawisko wynikające z jakichś głębszych zasad rządzących naturą, tak jak prawidłowości układu okresowego pierwiastków. Być może za kilkaset lat naukowcy będą sądzić, że mieliśmy wskazówki przed oczami, że to było

takie cholernie oczywiste, ale póki co to tajemnica[6]. Jeśli potrafisz to wyjaśnić, skontaktuj się z przedstawicielką teorii cząstek w swojej okolicy.

Jaka prawidłowość rządzi masą cząstek?

W układzie okresowym pierwiastków masy atomów i prawidłowości w nich widoczne były decydującą wskazówką, która pomogła rozgryźć, o co w tym wszystkim chodzi. Na podstawie prawidłowości rządzącej masą wydedukowaliśmy, że każdy pierwiastek ma w jądrze określoną liczbę protonów (to liczba atomowa, która jest miarą dodatniego ładunku jądra) i neutronów.

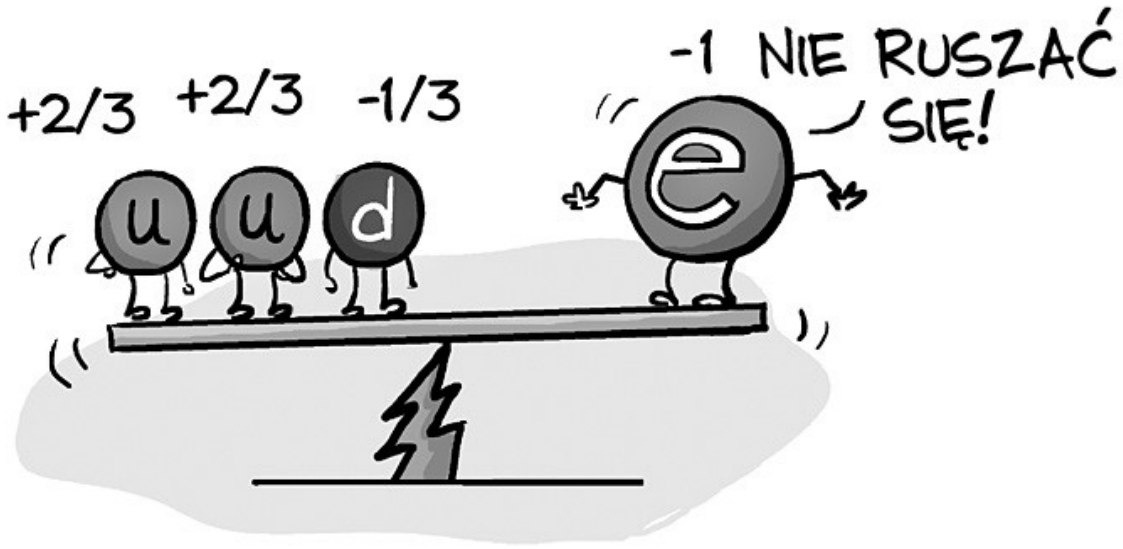
Niestety nie ma żadnej widocznej prawidłowości rządzącej masą cząstek fundamentalnych. Poniżej podajemy masy każdej z nich.



Poza ogólną tendencją, że kolejne generacje są cięższe, nie byliśmy w stanie rozgryźć istnienia żadnej prawidłowości wśród tych wielkości. Może ma to coś wspólnego z bozonem Higgsa (zob. rozdział 5), ale jak dotąd nie ma jasnych odpowiedzi. Przyjrzyj się na przykład temu superciężkiemu wysokiemu kwarkowi. Waży tyle co 175 protonów, czyli tyle samo co jądro atomu złota[7]. Różnice w masie cząstek obejmują przedział trzynastu rzędów wielkości. Dlaczego? Nie mamy pojęcia. Tkwimy w mroku, nie widząc żadnych wskazówek, a zarazem toniemy w ich powodzi.

O co chodzi z tymi ładunkami elektrycznymi po 1/3?

Kwarki różnią się od leptonów tym, że wykazują oddziaływanie silne i że mają dziwaczne ułamkowe ładunki elektryczne (+2/3 i −1/3). Jeśli w odpowiedni sposób połączy się kwarki górne i dolne, można uzyskać protony (dwa kwarki górne i jeden kwark dolny, o ładunku = 2/3 + 2/3 − 1/3 = +1) i neutrony (jeden kwark górny i dwa kwarki dolne, o ładunku = 2/3 − 1/3 − 1/3 = 0). To niezwykle ważne (i fortunne), bo ładunek elektronu wynosi akurat −1. Gdyby kwarki miały choć trochę większy (albo mniejszy) ładunek, wówczas ładunek protonów nie równoważyłby dokładnie ujemnego ładunku elektronu i nie mogłyby powstawać stabilne neutralne atomy. Bez tych ładunków wynoszących idealnie −1/3 i +2/3 nie byłoby nas tu. Nie byłoby chemii, biologii – nie byłoby życia.



To naprawdę fascynujące (albo przyprawiające o gęsią skórkę – w zależności od twojego poziomu paranoi), ponieważ zgodnie z naszą obecną teorią cząstki mogą mieć dowolne ładunki; teoria sprawdza się tak samo przy każdej wartości ładunku, a to, że tak idealnie się one równoważą, jest (z tego, co wiemy) ogromnym i szczęśliwym zbiegiem okoliczności.

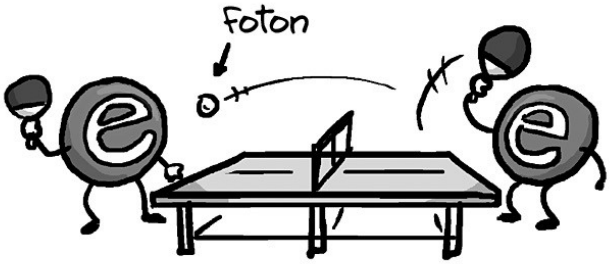
W nauce czasem faktycznie zdarzają się zbiegi okoliczności. Księżyc i Słońce ogromnie różnią się wielkością, ale na mocy kosmicznego zbiegu okoliczności (to jeden jedyny wypadek, kiedy można w sposób uzasadniony naukowo napisać: „to kosmiczny zbieg okoliczności”) na naszym niebie wydają się prawie tej samej wielkości, co umożliwia widowiskowe zaćmienia Słońca. Dla dawnych astronomów musiało to być niezwykle dezorientujące i wydawało im się znaczące. Przypuszczalnie wielu z nich podążyło z tego powodu niewłaściwą ścieżką, gdy próbowali zrozumieć, czy Słońce i Księżyc są ze sobą jakoś powiązane. Ale nie jest to idealny zbieg okoliczności. Rozmiar Słońca na niebie różni się od rozmiaru Księżyca o jakiś 1 procent.

Tymczasem w wypadku cząstek elementarnych proton i elektron mają dokładnie ten sam ładunek (tylko o przeciwnej wartości) i nie mamy pojęcia dlaczego. Zgodnie z naszą najlepszą teorią liczby te mogłyby być całkowicie dowolne. Jest to absolutnie czysty zbieg okoliczności. Co to znaczy dla związku między elektronem a kwarkami? Nie wiemy, jednak domaga się to jakiegoś prostszego wyjaśnienia. Jeśli zgubisz 2000 dolarów tego samego dnia, w którym twój sąsiad znajdzie 2000 dolarów, to czy przypiszesz to zbiegowi okoliczności? Pewnie dopiero wtedy, gdy wyczerpiesz wiele prostszych wyjaśnień i wniosków[8].

Może być tak, że ta dokładna odpowiedniość ładunków elektrycznych jest tak naprawdę kolejnym znakiem, że u podstaw istnienia tych cząstek leżą jakieś inne głębsze elementy. Albo może te dwa typy cząstek są w rzeczywistości dwiema stronami tej samej monety, albo są zbudowane ze wspólnego zestawu superekstramaleńkich klocków Lego w świecie cząstek[9].

Czy jest więcej cząstek?

Oprócz dwunastu cząstek materii (cząstek antymaterii nie liczymy jako osobnych cząstek) – sześciu kwarków i sześciu leptonów – istnieją cząstki, które przenoszą oddziaływania. Na przykład nośnikami oddziaływania elektromagnetycznego są fotony. Kiedy dwa elektrony odpychają się nawzajem, w rzeczywistości wymieniają między sobą foton. Pod względem matematycznym nie jest to całkiem ścisłe, ale możesz to sobie wyobrazić, jak gdyby jeden elektron odpychał drugi, strzelając do niego fotonem.



NIE TAK CAŁKIEM NIEDOKŁADNE
PRZEDSTAWIENIE ODDZIAŁYWANIA MIĘDZY CZĄSTKAMI

Wiemy o pięciu cząstkach przenoszących oddziaływania (spójrz na sąsiednią stronę).

W połączeniu z naszymi dotychczasowymi dwunastoma cząstkami materii jest to lista wszystkich cząstek, które odkryliśmy, ale nie wiemy, czy jest to lista kompletna. Nie ma żadnej teoretycznej granicy liczby cząstek, jakie mogłyby istnieć. Może być tylko siedemnaście cząstek – albo 100, albo 1000, albo 10 000 000. Wiemy, że nie ma więcej generacji kwarków i leptonów, ale na pewno mogłyby być inne rodzaje cząstek. Ile ich jest? Nie mamy pojęcia.

Co jest najbardziej podstawowym elementem materii?

A więc po co są te wszystkie cząstki? Dlaczego część z nich jest bezużyteczna, skoro do zwykłej materii potrzebujemy tylko pierwszych trzech (kwarka górnego, kwarka dolnego oraz elektronu)? Oto kilka możliwych odpowiedzi:

- Kto to może wiedzieć? No i świetnie.
- Ktoś to wie, no i wcale nie świetnie.
- „Bezużyteczne” to określenie względne.

Być może taki po prostu jest wszechświat: te cząstki są najbardziej fundamentalnymi obiektami we wszechświecie i tak się akurat składa, że wszechświat ma coś w rodzaju długiej listy dziesięciu–dwudziestu podstawowych części bez konkretnego powodu. Może gdzieś istnieją inne

wszechświaty, które mają inną listę dziesięciu–dwudziestu podstawowych części, ale możemy nigdy ich nie zobaczyć.

Niewykluczone, że te cząstki nie są najbardziej fundamentalnymi obiektami we wszechświecie, może składają się z jeszcze prostszego zestawu bardziej podstawowych cząstek, których jeszcze nie odkryliśmy. To by znaczyło, że cząstki, które znamy, są tylko wynikiem połączenia tamtych bardziej fundamentalnych cząstek. Wyjaśniałoby to, dlaczego w naszej aktualnej tabeli cząstek występują te wskazówki w postaci prawidłowości i zbiegów okoliczności. Ta odpowiedź jest pewnie właściwa, ale nie mamy na to dowodu (jeszcze).

A może ciężkie cząstki są „bezużyteczne” tylko dlatego, że nie można ich użyć do tworzenia protonów, neutronów i elektronów, które są stabilnymi postaciami najlżejszych cząstek. Ale wszechświat składa się w większości z tych najlżejszych cząstek tylko dlatego, że jest taki zimny i wielki. Gdyby wszechświat był mniejszy i gorętszy, i gęstszy, to występowałoby w nim więcej ciężkich cząstek i nie wydawałyby się takie bezużyteczne (ale wszystko wyglądałoby zupełnie inaczej od tego, do czego zdążyliśmy się przyzwyczaić).

Wszystko, co napisaliśmy powyżej, sprowadza się do tego, że wciąż staramy się rozgryźć, jak funkcjonuje tych 5 procent wszechświata, które dobrze znamy. Przebyliśmy długą drogę, ale nie doszliśmy do pełnego fundamentalnego zrozumienia, dlaczego wszystko jest, jakie jest. Mamy listę rzeczy, z których naszym zdaniem składa się ten wszechświat, ale nie mamy 100 procent pewności, że jest to lista kompletna.

Mamy natomiast solidne podstawy, by zgłębiać to pytanie, i jest to pasjonujące. W układzie czy też tabeli cząstek fundamentalnych (fizycy nazywają to modelem standardowym) występują wszystkie te niewyjaśnione prawidłowości i „bezużyteczne” cząstki, ale samo to

zestawienie opiera się na rzeczywistych obserwacjach i możemy go użyć jako mapy do odkrywania wewnętrznego funkcjonowania wszechświata. Odkrycie nowych cząstek (nawet gdyby nie znajdowały zastosowania w zwykłej materii) byłoby niesłychanie ekscytujące, ponieważ znaczyłoby to, że powiększa się nasza mapa wszechświata.

Wyobraź sobie na przykład, że ciemna materia składa się z cząstek – takich, których jeszcze nie odkryliśmy. Ich odnalezienie poszerzyłoby nasze rozumienie wszechświata aż o 27 procent całości. W rzeczywistości gdyby odkryto, że ciemna materia składa się z tylko jednego rodzaju cząstek (tych, które bardzo słabo oddziałują z naszym rodzajem materii), byłby to pewnie najnudniejszy z możliwych scenariusz dotyczący ciemnej materii. Czy nie bardziej fascynujące byłoby, gdyby ciemna materia składała się z całego mnóstwa odlotowych cząstek albo wręcz gdyby była całkowicie innego rodzaju materią niecząstkową?

Rzecz w tym, że aby odpowiedzieć na podstawowe pytania o wszechświat, musimy drążyć budowę zwykłej materii najgłębiej, jak tylko się da. A przy okazji może uda nam się wykopać cząstki albo zjawiska, które w zwykłej materii nie mają do odegrania żadnej widocznej roli. Wiemy, że te niewytłumaczalne rzeczy są częścią wszechświata, muszą więc skrywać jakieś wskazówki na temat tego, dlaczego wszystko jest takie, jakie jest. Odpowiadanie na te pytania będzie w zasadniczy sposób

zmieniać sposób, w jaki postrzegamy siebie. Innymi słowy, możemy mieć (kosmiczne) ciastko, a jednocześnie je zjeść.

---

[1] I kupi po egzemplarzu dla każdego ze swoich przyjaciół oraz znajomych.

[2] A mimo to nie mamy jeszcze latających samochodów!

[3] To rozsądne założenie, skoro czytasz nawet przypisy.

[4] To „bla, bla, bla” na końcu to rekordowo wielka ilość materii bla, bla, bla.

[5] One same wolą określenie „grubokościste”.

[6] Przyszli fizycy najwyraźniej mają protekcjonalny brytyjski akcent.

[7] Chodziło o to, żeby zrobić na tobie wrażenie.

[8] Jak na przykład taki, że powinieneś przeprowadzić się do innej dzielnicy.

[9] Ale ciągle będzie bolało, kiedy się na nie nadepnie.

5

Tajemnice masy

Dotkniemy tu kilku ciężkich kwestii

Pewnie już to słyszałeś – z ust naukowców w białych fartuchach albo (jeśli to fizycy) w szortach i T-shirtach – że w większości jesteś pustką. Nie bierz tego do siebie. Chodzi im o to, że atomy, z których wszyscy się składamy, większość swojej „substancji” skupiają w maleńkim jądrze otoczonym przez mnóstwo pustej przestrzeni, przez co może się wydawać, że powinniśmy móc przenikać przez ściany.

Jest to tylko częściowo prawdziwe. Ale cała prawda jest dużo dziwniejsza i wiąże się z licznymi tajemnicami „masy”. Bo musisz

wiedzieć, że nie wszystkie wielkie tajemnice wszechświata znajdują się gdzieś daleko, wśród gwiazd i galaktyk, lub dotyczą dziwnych cząstek. Niektóre otaczają cię zewsząd, a nawet tkwią w twoim wnętrzu.

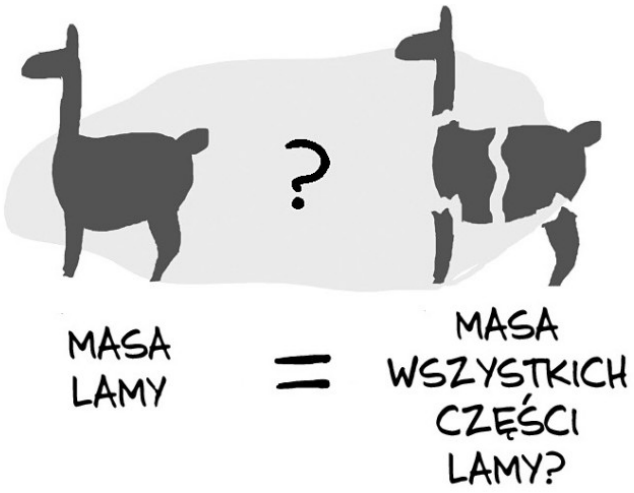
Na wiele sposobów opisujemy, czym jest masa, ale w bardzo niewielkim stopniu rzeczywiście rozumiemy, czym ona jest i dlaczego ją mamy. Wszyscy odczuwamy masę. Już od czasów, gdy byłeś niemowlęciem, coraz wyraźniej do ciebie trafia, że na tym świecie rozpychanie się nie zawsze przychodzi równie łatwo. Jednak choć wszyscy znamy to odczucie, fizycy zwykle upierają się, by wyjaśniać nam leżące u jego podstaw szczegóły techniczne. Jak przekonasz się w tym rozdziale, większość twojej masy nie składa się z mas poszczególnych cząstek tkwiących w twoim wnętrzu. Nie wiemy nawet, dlaczego niektóre obiekty mają masę, a inne nie, ani dlaczego bezwładność idealnie równoważy siłę grawitacji. Masa jest tajemnicza i nie wszystko tłumaczy ten deser, który zjadłeś wczoraj wieczorem.

Czytaj więc dalej i przekonaj się, jak wiele istnieje pytań na temat masy, na które nie mamy jeszcze odpowiedzi. To nie będzie ciężka lektura.

Masa rzeczy

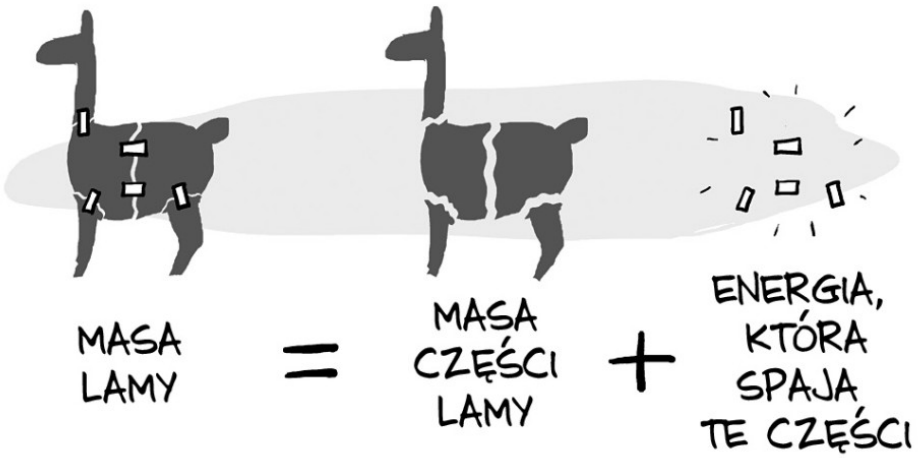
Kiedy myślisz o rzeczach, które mają masę, masz pewnie na myśli to, że mają w sobie dużo „czegoś”. Ten sposób myślenia na ogół się sprawdza, bo o masie jakiejś typowej rzeczy – jak na przykład normalnej, zwykłej lamy – możesz myśleć jako o sumie mas wszystkich cząstek w jej wnętrzu. Znaczy to, że gdybyś przeciął lamę na pół[1], to masa lamy byłaby sumą mas dwóch jej połówek. Gdybyś lamę poćwiartował na cztery części, jej masa byłaby sumą mas tych czterech kawałków. I tak dalej. Jeśli posiekasz lamę

na *n* części, możesz ustalić jej masę, dodając masy tych *n* kawałków. Zgadza się?



Błąd! No dobrze, na ogół się zgadza. Dla $n = 2, 4, 8\ldots$ aż do mniej więcej $n = 10^{23}$ – faktycznie się zgadza. Ale dalej już nie. Powód zabrzmi bardzo dziwnie: całkowita masa lamy to nie tylko masa tego czegoś, co w niej jest. Obejmuje ona również energię, która to coś spaja. To dość osobliwa koncepcja; daj sobie chwilkę, żeby się z tym oswoić.

Jeśli nigdy wcześniej o tym nie słyszałeś, pewnie spodziewasz się, że to tylko jakaś sztuczka semantyczna, i że używamy tu słowa „masa” w jakimś fachowym znaczeniu, różniącym się od zwykłego rozumienia masy. Odpowiemy krótko: nie, mamy na myśli dokładnie to, co ci się wydaje, ale masa to nie dokładnie to, co ci się dotychczas wydawało.



Dłuższa wersja odpowiedzi wymaga ogromnej precyzji w zakresie tego, co rozumiemy przez masę. Masa jest własnością ciał fizycznych, która sprawia, że stawiają opór zmianie prędkości. Ujmując to prosto: jeśli coś popchniesz, to coś przyspieszy (zmieni swoją prędkość). Ale jeśli będziesz popychać różne przedmioty z tą samą siłą, zauważysz, że niektóre przyspieszają bardziej, a niektóre prawie wcale. Spróbuj zrobić to w domu: możesz strzelać z pistoletu Nerf do rzeczy, które znajdziesz pod ręką, na przykład do chusteczek higienicznych albo do śpiących słoni. Każda strzałka Nerf działa na cel z prawie taką samą siłą, ale efekt strzału jest znacznie wyraźniejszy, gdy trafimy w chusteczkę, niż gdy się trafi w śpiącego słonia[2]. Wynika to właśnie z tego, co nazywamy masą.

Masa to również twoje codzienne jej doświadczanie. Nie ma tu żadnych sztuczek. Słoń ma większą masę niż chusteczka; to nie jest odpowiedź, dlaczego trudniej go ruszyć; to jest po prostu przejaw tego, co znaczy mieć większą masę: przy zastosowaniu tej samej siły uzyskuje się mniejsze przyspieszenie. Ta własność nazywana jest czasem „masą bezwładną” – opieranie się przyspieszaniu znane jest również jako bezwładność. Masę bezwładną możemy zmierzyć dość łatwo, przykładając siłę o znanej

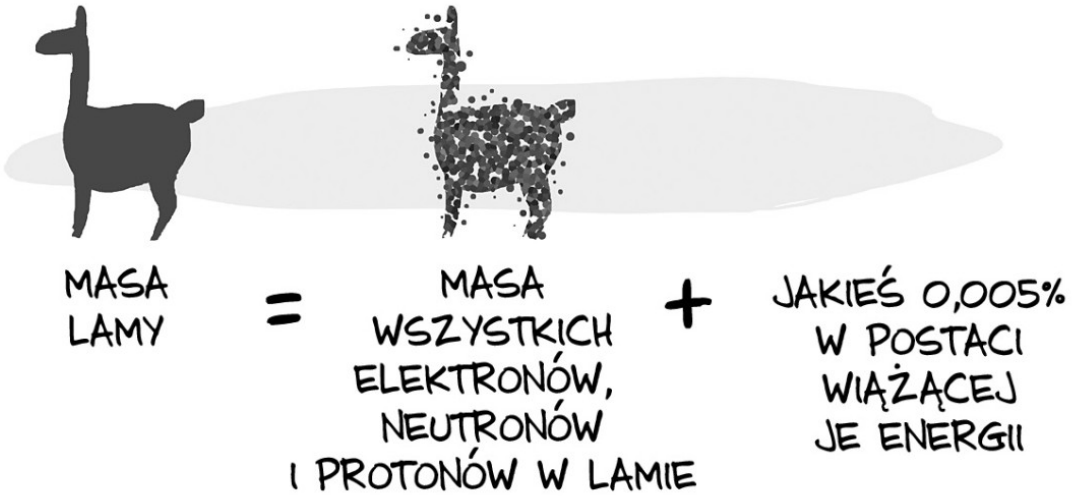
wartości i mierząc przyspieszenie. (Zwróć uwagę, że jest jeszcze drugie określenie masy, „masa grawitacyjna”, które omówimy później).

A teraz, skoro tak starannie zdefiniowaliśmy, co rozumiemy przez masę, możemy w dowolnym momencie użyć tej definicji do zmierzenia masy lamy przy użyciu skalibrowanego przez inżynierów z NASA zestawu pistoletów Nerf. Mając ten wynik, możemy wrócić do naszej myślowej lamy rozbitej na atomy dla rozwoju nauki.

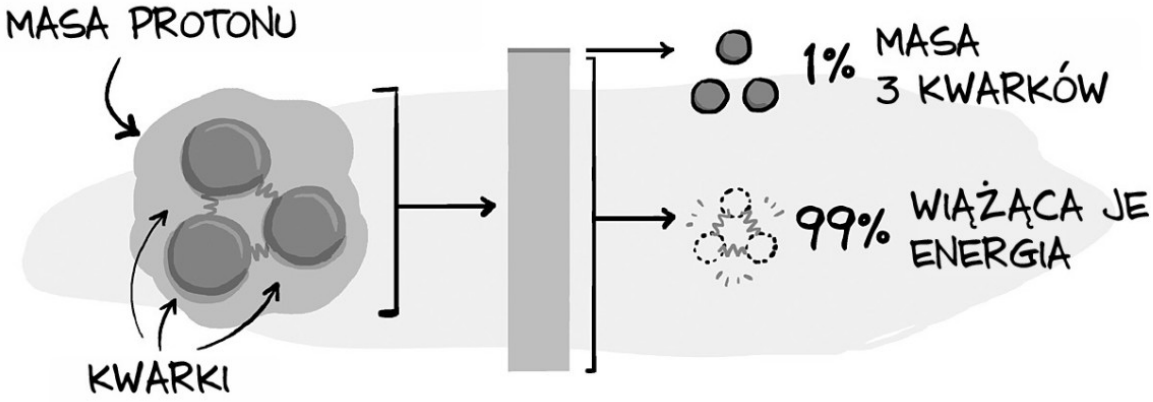
Rozrywając wiązania spajające ze sobą atomy lamy, uwalniasz tkwiącą w tych wiązaniach energię i całkowita masa pokrojonej lamy spada. W wypadku liczby kawałków lamy n=2 nie jesteś w stanie tego zauważyć. Ale jeśli rozbijesz lamę na pojedyncze atomy, wówczas efekt się skumuluje. Energia zamknięta w wiązaniach pomiędzy cząsteczkami lamy rzeczywiście dodaje lamie masy. To nie jest teoretyczne przypuszczenie, lecz doświadczalna obserwacja[3].

W wypadku lamy efekt nie jest bardzo znaczący. Na przykład jeśli porozrywasz wszystkie wiązania chemiczne spajające atomy lamy, różnica między masą lamy a sumą mas wszystkich atomów lamy nie będzie duża.

A nawet jeśli porozrywasz wszystkie poszczególne atomy na składające się na nie protony, neutrony i elektrony, nadal nie będzie wielkiej różnicy w masie (byłaby ona rzędu 0,005 procenta).



W wypadku mniejszych cząstek jest już inaczej. Gdybyśmy porozdzielali wszystkie poszczególne protony i neutrony lamy na składające się na nie kwarki (pamiętaj, że każdy proton i każdy neutron składa się z trzech kwarków), zobaczylibyśmy olbrzymią różnicę w masie. W rzeczywistości większość masy protonu lub neutronu pochodzi z energii, która wiąże razem ich trzy kwarki.



Innymi słowy, gdybyś dodał masy trzech kwarków (mierząc je za pomocą wystrzelonych w każdy z nich strzałek z pistoletu Nerf) i porównał ten wynik z masą tych samych trzech kwarków związanych razem w protonie albo neutronie (mierząc ją za pomocą wystrzelonych w proton lub neutron strzałek z pistoletu Nerf), zobaczyłbyś bardzo dużą różnicę w masie. Masy poszczególnych kwarków stanowią tylko jakiś 1 procent masy protonu lub neutronu. Reszta tkwi w energii, która wiąże te kwarki.

Te przykłady pokazują, co się dzieje, kiedy w wiązaniach między cząstkami zmagazynowana jest energia: sprawia ona, że przedmiot będący ich połączeniem ma większą masę niż suma jego części.

By się przekonać, jak sprzeczne jest to z twoją intuicją, wyobraź sobie, że wziąłeś trzy fasolki i każdą z nich zważyłeś. Jaka jest masa tych trzech fasolek? Jest to suma tych trzech mas. Na razie to proste. Teraz wyobraź sobie, że wkładasz te trzy fasolki do woreczka, który ściska w środku fasolki naprawdę mocno, z wielką energią. Nagle okazałoby się, że woreczek wydaje się o wiele cięższy niż sama masa fasolek w środku. Ważyłby więcej i dużo trudniej byłoby go przesunąć z jednego miejsca w inne. Działoby się tak dlatego, że większość masy woreczka nie pochodziłaby ze zsumowania mas fasolek w środku, lecz z energii potrzebnej do utrzymania ich ściśniętych razem.

Wariactwo polega tu na tym, że większość twojego ciała składa się z takich woreczków fasolek (protonów i neutronów), co oznacza, że większość twojej masy nie pochodzi z tego „czegoś”, z czego się składasz (kwarków, elektronów), lecz z energii potrzebnej do spajania razem twojego „czegoś”. W naszym wszechświecie masa jakiejś rzeczy obejmuje energię potrzebną do związania tego czegoś w całość.

A najfantastyczniejsze jest to, że tak naprawdę nie wiemy, dlaczego tak jest.

Mamy tu na myśli to, że tak naprawdę nie wiemy, dlaczego energia utrzymująca fasolki razem wpływa na to, jak szybko albo jak wolno dana rzecz przyspiesza w reakcji na siłę. Jeśli popychasz swój woreczek fasolek, nie ma żadnego realnego powodu, dla którego miałbyś móc czuć tę energię tkwiącą wewnątrz. Nie powinno to mieć dla ciebie znaczenia, czy fasolki trzymają się na ślinie, czy na super glue. Tymczasem tak właśnie jest. Oto wielka tajemnica masy. Chociaż potrafimy ją mierzyć, tak naprawdę nie wiemy, czym jest bezwładność ani dlaczego jest powiązana zarówno z masą

cząstek, jak i ze spajającą te cząstki energią. Można by powiedzieć, że w zakresie wiedzy na ten temat człowiek może i jest wysoki jak topola, ale głupi jak fasola.

NASZA WIEDZA O MASIE BEZWŁADNEJ

Wyjątkowo zagmatwane masy cząstek

Jeśli twój umysł jeszcze nie eksplodował po tym, jak się dowiedziałeś, że fizyka nie potrafi tak naprawdę wyjaśnić czegoś tak podstawowego jak bezwładność, przygotuj się na kolejną masa-krę: nawet ta masa, którą przypisujemy cząstkom fundamentalnym w rodzaju kwarków lub elektronów, tak naprawdę także nie jest „rzeczą”. W rzeczywistości nie ma czegoś takiego jak „rzecz”. Coś takiego nie istnieje w naszym opracowaniu fizyki.

Cząstki fundamentalne – według naszej obecnej teorii – są tak naprawdę niepodzielnymi punktami przestrzeni. Znaczy to, że w teorii zajmują zerową objętość i że znajdują się w jednym nieskończenie małym punkcie trójwymiarowej przestrzeni. Tak naprawdę nie mają żadnego rozmiaru[4]. A ponieważ składasz się z cząstek, oznacza to, że nie tylko w większości jesteś pustą przestrzenią, lecz całkowicie jesteś pustą przestrzenią!

Pomyśl przez chwilę, jakie to bezsensowne dla pojęcia masy. Pamiętaj, że niektóre cząstki mają maleńką masę, prawie równą zeru, a inne – olbrzymią (grubasy!). Oto przykładowe pytanie, które nie ma sensu: jaka jest gęstość elektronu? Elektron ma niezerową masę, a istnieje w zerowej objętości, więc gęstość (masa dzielona przez objętość) jest tak naprawdę… nieokreślona? To bez sensu.

Albo weź dwie cząstki, które są identyczne pod każdym względem poza masą, takie jak kwark wysoki i kwark górny. Kwark wysoki jest jak supergruby kuzyn kwarka górnego; ma ten sam ładunek elektryczny, ten

sam spin i podlega tym samym oddziaływaniom. Oba są podobno fundamentalnymi cząstkami punktowymi, ale kwark wysoki w porównaniu do kwarka górnego ma 75 000 razy większą masę. A mimo to zajmują tę samą ilość przestrzeni (czyli żadną) i zachowują się prawie tak samo. Jak to więc możliwe, że jeden z nich ma więcej masy niż drugi, mimo że nie ma w sobie ani trochę więcej „czegoś”?

Powodem, dla którego wydaje się to bez sensu, jest to, że cząstki nie są podobne do niczego, z czym miałeś do czynienia w swoim zwykłym świecie. Jest całkowicie naturalne, że kiedy próbujemy zrozumieć coś nowego, używamy modeli, które opierają się na rzeczach już nam znanych[5]. No bo co innego możemy w takiej sytuacji zrobić? To trochę jak tłumaczenie trzylatce, co to jest tygrys. Mógłbyś powiedzieć, że to „po prostu taki duży kotek”, ale ta definicja straci swoją moc w chwili, gdy pewnego dnia trzylatka znajdzie się w zoo i spróbuje wetknąć rączkę do klatki, żeby pogłaskać tygryska, a twoja żona (lub mąż) wydrze się na ciebie, że jesteś nieodpowiedzialnym ojcem (matką), bo stosujesz teoretycznie niepełne analogie. Te myślowe modele są użyteczne, ale zawsze należy pamiętać o ich ograniczeniach.

Często myślimy o cząstkach jak o kulkach wykonanych z jakiejś substancji. W wypadku wielu eksperymentów myślowych się to sprawdza,

chociaż cząstki nie są kulkami. Ani trochę. Zgodnie z mechaniką kwantową są one przedziwacznymi małymi wahaniami pól, które przenikają cały wszechświat. Znaczy to, że podlegają zasadom, które w modelu kuleczek nie za bardzo działają. Na przykład w pewnej chwili cząstki mogą być po jednej stronie nieprzenikalnej bariery, by w następnej pojawić się po jej drugiej stronie – i to wcale przez tę barierę nie przechodząc[6]. Cząstki kwantowe potrafią robić rzeczy, które wydają się bez sensu, jeśli myślisz o nich w kategoriach tego, co znasz, bo one są niepodobne do niczego, czego kiedykolwiek doświadczyłeś.

Nasze myślowe modele mogą być przydatne jako źródło intuicji albo pomoc w wyobrażeniu sobie czegoś, warto jednak pamiętać, że to jedynie modele i że w pewnym momencie mogą nie stanąć na wysokości zadania. Tak właśnie dzieje się w twoim mózgu, kiedy myślisz o masach cząstek punktowych.

Weźmy drugą skrajność: Jaki sens ma to, że jakaś cząstka ma zerową masę? Na przykład foton ma dokładnie zerową masę. Jeśli nie ma masy, to znaczy, że czego właściwie jest cząstką? Domagając się, żeby masa zawsze odpowiadała jakiejś substancji, musimy przyjąć, że pozbawiona masy cząstka nie ma w sobie dosłownie niczego.

Zamiast myśleć o masie jakiejś cząstki jak o tym, ile czegoś wepchnięto do supermaleńkiej kulki, pomyśl o niej po prostu jak o etykietce, którą naklejamy na jakiś nieskończenie mały kwantowy przedmiot.

Być może sobie tego nie uświadamiałeś, ale myślałeś już w ten sposób w odniesieniu do ładunku elektrycznego cząstki. Wszyscy wiemy, że elektrony mają ujemny ładunek elektryczny, ale czy kiedy o tym myślisz, zadajesz sobie w ogóle takie pytanie: gdzie wewnątrz elektronu mieści się ten ładunek? Jaka substancja udziela mu tego ładunku i czy w elektronie jest jakieś miejsce na porcję tej substancji? Te pytania wydają się głupie, ponieważ myślimy o ładunku jak o czymś, co cząstka po prostu ma. To etykietka i może mieć mnóstwo wartości: 0, −1, 2/3 itd. Spróbuj pomyśleć o masie w ten sam sposób, a stanie się to odrobinę sensowniejsze.

Ale jeśli ładunek elektryczny oznacza, że cząstka może doznawać oddziaływań elektrycznych (takich jak odpychanie przez inne elektrony), to co oznacza masa w wypadku cząstki? Masa to coś, co daje cząstce

bezwładność (opór w stosunku do ruchu). Ale nadal nie rozumiemy, dlaczego w ogóle rzeczy mają bezwładność. Skąd ona pochodzi? Co ona oznacza? Kto nam pomoże w potrzebie? Odpowiedź brzmi: bozon Higgsa.

Bozon Higgsa

W 2012 roku fizycy cząstek z wielką międzynarodową pompą ogłosili odkrycie bozonu Higgsa. Prawie nikt nie rozumiał, czym jest bozon Higgsa, ale mnóstwo ludzi bardzo się tym ekscytowało. W „New York Timesie" napisano, że „to najlepsze, co rozwój nauki może ofiarować współczesnej cywilizacji". Tak: bozon Higgsa jest faktycznie lepszy niż komputery, muszle klozetowe i reality show[7].

Czym więc jest bozon Higgsa? Poniżej przedstawiamy quiz, w którym możesz sprawdzić swoją wiedzę. Odpowiedz na pytania teraz, a potem ponownie, gdy przeczytasz ten rozdział. Mamy nadzieję, że twoja punktacja przynajmniej nie spadnie.

HIZ QUIGGSA znaczy... QUIZ HIGGSA

1. Zanim wykorzystano go jako nazwę cząstki, „bozon Higgsa” zasłynął jako:

a. ulubiony przez wszystkich klaun z programu telewizyjnego dla dzieci

b. kryptonim najniebezpieczniejszego szpiega CIA

c. przyjaciel Luke’a Skywalkera z dzieciństwa

d. postać twojego kolegi z gry Dungeons & Dragons.

2. Prawda czy fałsz: w wypadku bezpośredniego spożycia bozon Higgsa wykazuje działanie silniej uzależniające niż cheetosy Flamin’ Hot.

3. Prawda czy fałsz: bozon Higgsa to cząstka, której istnienie przewidzieli dwaj teoretycy: Higgs i Bozon.

Sprawdź swoje odpowiedzi w przypisach, by się przekonać, jak dużo wiesz[8].

Teraz już całkiem poważnie: znalezienie bozonu Higgsa naprawdę było triumfem nauki. Stanowiło dowód, że poszukiwanie prawidłowości jest dobrą metodą przy próbach zrozumienia wszechświata.

Pomysł, że być może istnieje coś takiego jak bozon Higgsa, zrodził się z analizy prawidłowości cechujących cząstki przekazujące oddziaływania – foton, bozon W i bozon Z – oraz ze stawiania pytań na temat ich masy. Fizycy pytali: Dlaczego jedna z nich jest pozbawiona masy (foton), a pozostałe (W oraz Z) są bardzo ciężkie? W tym konkretnym wypadku bez

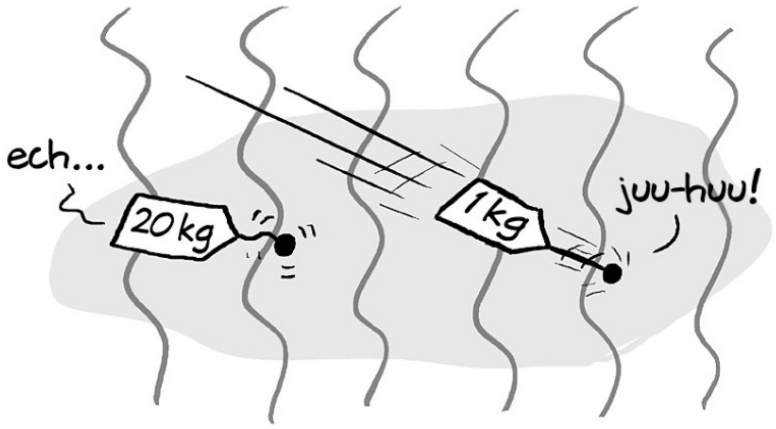
sensu było, by na owej dziwnej etykiecie, którą nazywamy masą, u jednego nośnika oddziaływań figurowało zero, a u pozostałych liczba większa od zera.

Peter Higgs i kilku innych badaczy zajmujących się fizyką cząstek elementarnych przez jakiś czas się nad tym zastanawiało, aż wreszcie znaleźli rozwiązanie: wystarczy to lekko podrasować. Dosłownie. Założyli, że jeśli do równań doda się jeszcze jedną cząstkę (bozon Higgsa) i jej pole (pole Higgsa), to masa jako etykieta cząstki stanie się zrozumiała – i zrozumiały stanie się powód, dla którego niektóre cząstki mają jej więcej niż inne.

Ta teoria wygląda z grubsza tak: wyobraź sobie pole, które przenika cały wszechświat. To pole robi coś, czego nie robi żadne inne pole: zamiast cokolwiek przyciągać albo odpychać, sprawia, że cząstkom trudno jest ruszyć z miejsca albo spowolnić. Efekt tego pola jest identyczny z efektem posiadania masy bezwładnej.

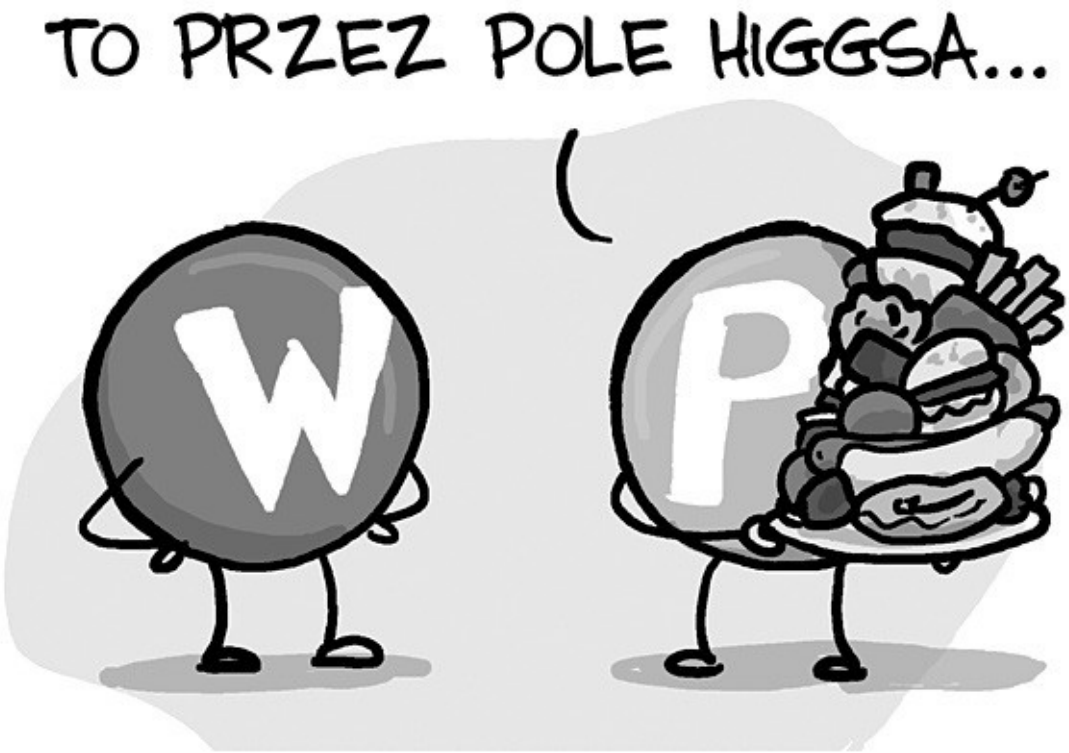
Im bardziej to pole oddziałuje z jakąś cząstką, tym bardziej bezwładną się nam ona wydaje – albo inaczej: masywną. Teoria idzie o krok dalej i głosi, że bezwładność wytworzona przez cząstkę oddziałującą z tym polem jest masą cząstki. To właśnie znaczy mieć masę. Niektóre cząstki doznają oddziaływania tego pola bardzo silnie, co znaczy, że trzeba dużej

siły, by je przyspieszyć lub spowolnić; te cząstki mają mnóstwo masy. Inne cząstki w znikomym stopniu doznają oddziaływania tego pola, wobec czego by je przyspieszyć lub spowolnić, wystarczy bardzo niewielka siła; te cząstki prawie nie mają masy. Zgodnie z teorią Higgsa tym właśnie jest masa.



Zastanów się nad tym przez chwilę. Jest to zarazem spostrzeżenie zmieniające dotychczasowy paradygmat i stwierdzenie całkowicie trywialne.

Zmienia dotychczasowy paradygmat, ponieważ daje ci inne wyobrażenie tego, czym jest masa. To wielka sprawa.



Ale jest też trywialne, bo kiedy już przyjąłeś, że masa to raczej jakaś tajemnicza etykieta kwantowa dla cząstki niż ilość zawartej w niej substancji, informacja, że wielkość tej etykiety masy wynika z jakiegoś tajemniczego pola, które rozciąga się na cały wszechświat, nie pomaga ci zrozumieć, czym jest masa.

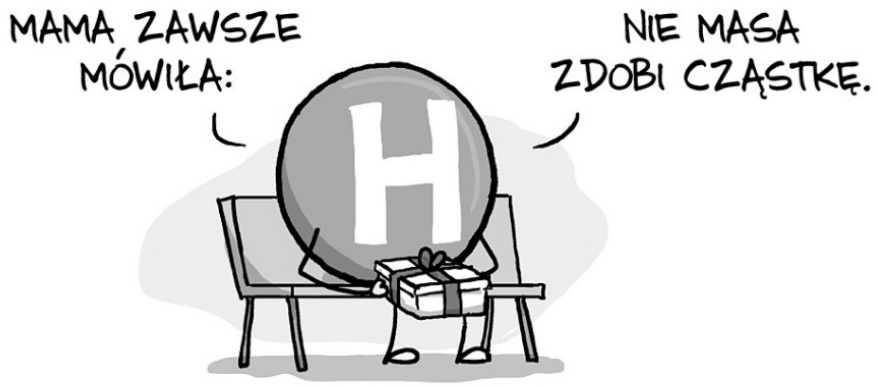
W rzeczywistości teoria Higgsa wcale nie zajmuje się najważniejszym pytaniem: dlaczego cząstki materii mają różną masę? Zgodnie z tą teorią powodem jest ich różne oddziaływanie z polem Higgsa. W efekcie nie uzyskujemy odpowiedzi, lecz tylko nowe pytanie: dlaczego pole Higgsa oddziałuje z każdym rodzajem cząstek materii w inny sposób?

Według tej teorii nic nie wyjaśnia masy cząstek materii. Wygląda na to, że o jej przydziale decydował ślepy los i równie dobrze każda cząstka mogłaby mieć całkiem inną wartość masy niż w rzeczywistości. Gdyby

zmienić masy cząstek, teoria Higgsa zachowałaby wewnętrzną spójność. Obowiązywałyby te same prawa fizyki, które znamy obecnie. Oczywiście dodanie lub odjęcie masy niektórym cząstkom miałoby olbrzymi wpływ na inne rzeczy, na przykład na protony, neutrony i elektrony, których obecna postać zapewnia nam uwielbiane przez wszystkich, choć w sezonie o wiele za drogie latte (a także w szerszej perspektywie umożliwia działanie chemii i biologii). Ale – zgodnie z obecną teorią – masy cząstek materii to dowolnie ustalone parametry, które mogą przyjmować każdą wartość.

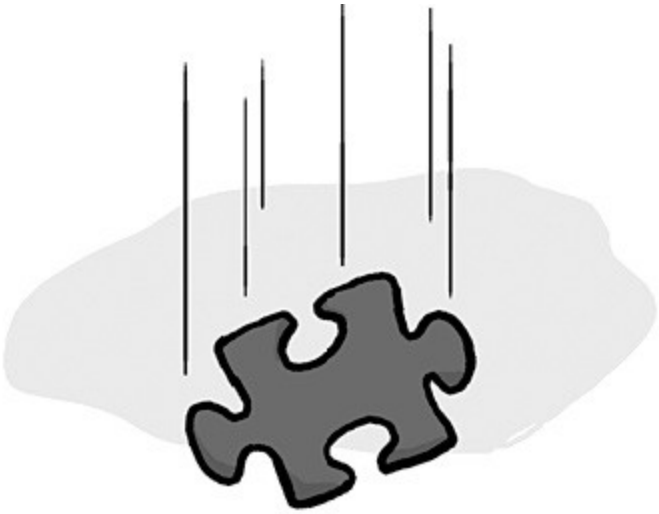
Teoria Higgsa faktycznie wyjaśnia, dlaczego nośniki oddziaływań (foton, bozon W i bozon Z) mają taką masę, jaką mają, ale nie wyjaśnia ogólnie, dlaczego cząstki materii mają różną masę (dlaczego niektóre oddziałują z polem Higgsa bardzo silnie, a inne nie). Pewnie istnieje jakaś prawidłowość dotycząca tych mas, tyle tylko że póki co umyka ona naszej uwadze. Jesteśmy na tym samym poziomie zaawansowania co Uk i Grug, dla których metodą wyjaśniania wszystkiego było wyliczanie. W ten sam sposób nasza najlepsza obecnie teoria wszechświata tylko wylicza masy cząstek materii, rozumiejąc je jako dowolnie przyjęte liczby.

Może kiedyś w przyszłości jakaś badaczka spojrzy na naszą listę i na widok naszej niewiedzy z politowaniem wzniesie oczy ku górze, tworząc prostszą teorię, w której wartości tych mas nie będzie się traktować jak dowolnie ustalonych parametrów, lecz raczej jak wynik jakiegoś głębszego, piękniejszego opisu natury. O którym nadal nie mamy pojęcia.



Masa grawitacyjna

W ten sposób dochodzimy do ostatniego elementu tej układanki.



Kiedy wcześniej wspominaliśmy o mierzeniu masy różnych przedmiotów, być może przyszła ci do głowy inna metoda niż proponowane przez nas użycie dokładnej aparatury opartej na pistolecie Nerf: wystarczy użyć wagi! Przyrząd zwany wagą mierzy wielkość zwaną ciężarem, która oznacza siłę grawitacji oddziałującą na dany przedmiot. Ta siła jest bardzo

ściśle związana z masą, ponieważ im większą coś ma masę, tym silniej Ziemia to przyciąga. Siła, z jaką Ziemia przyciąga słonia, jest większa niż siła, z jaką Ziemia przyciąga chusteczkę. W wypadku cząstki masę grawitacyjną (zwaną również masą ważką) można również pojmować jako „ładunek” oddziaływania grawitacyjnego. Kiedy dwie cząstki mają ładunki elektryczne, doznają wzajemnego oddziaływania elektrycznego, a oddziaływanie to jest proporcjonalne do ich ładunków. Podobnie kiedy dwie cząstki mają masę, doznają przyciągania grawitacyjnego proporcjonalnego do masy ich obu.

Dziwna rzecz, ale nie da się mieć ujemnej masy, dlatego nigdy nie ma grawitacyjnego odpychania, lecz tylko przyciąganie[9]. Grawitacja różni się

pod tym względem od innych oddziaływań, które bardziej szczegółowo przeanalizujemy w następnym rozdziale.

Czy dwa rodzaje masy są tym samym?

Czy masa grawitacyjna jest tym samym co masa bezwładna, o której mówiliśmy parę stron wcześniej? Tak… i nie.

Nie, ponieważ masa, którą nazywamy masą grawitacyjną, wydaje się decydować o sile grawitacji oddziałującej na jakiś przedmiot, a mierzymy ją przy użyciu innej metody (wagi) niż ta, którą stosujemy do mierzenia masy bezwładnej[10].

A tak, ponieważ możemy mierzyć masę na oba sposoby i jak dotychczas nigdy nie zaobserwowaliśmy, żeby masa grawitacyjna jakiegoś przedmiotu różniła się choćby o jotę od jego masy bezwładnej.

Pomyśl, jakie to dziwaczne. W rzeczywistości nie ma żadnego intuicyjnego powodu, dla którego te dwie masy miałyby być tym samym. Jedna z nich (masa bezwładna) objawia się tym, jak duży opór coś stawia ruchowi, a druga (masa grawitacyjna) ujawnia się w tym, jak bardzo owo coś chce dać się poruszyć grawitacji.

Aby to potwierdzić, możesz zrobić prosty eksperyment. Umieść dwa przedmioty o różnej masie (na przykład kota i lamę) w próżni (żeby nie było oporu powietrza), a przekonasz się, że spadają z tą samą prędkością. Dlaczego tak się dzieje? Ponieważ masa grawitacyjna lamy jest większa, Ziemia przyciąga lamę z większą siłą; ale ponieważ lama ma też większą masę bezwładną, potrzebna jest większa siła, by wprawić ją w ruch. Te dwa skutki idealnie kompensują się nawzajem, wobec czego kot i lama spadają z tą samą prędkością.

MASOWE PROTESTY

Współczesna fizyka nie wie, dlaczego tak jest. Po prostu zakładamy, że obie masy są tym samym. I ta zakładana równoważność znajduje się w samym sercu ogólnej teorii względności Einsteina, która ujmuje grawitację w zupełnie inny sposób. Zamiast traktować ją jak oddziaływanie, które działa na dowolnie ustalony „ładunek” związany z cząstkami oraz spajającą je energią, teoria ta opisuje grawitację jako zagięcie albo zakrzywienie przestrzeni wokół masy i energii. A zatem w teorii Einsteina ten związek jest dużo bardziej naturalny, ale nadal nie wyjaśnia nam ona, dlaczego ów związek istnieje. Czy są to dwa dowolnie ustalone parametry (masa bezwładna i masa grawitacyjna), czy też są one powiązane? Czy te dwie masy mogłyby być różne bez konieczności łamania praw fizyki?

W odróżnieniu od teorii względności nasze teorie fizyki cząstek elementarnych traktują masę grawitacyjną i masę bezwładną jako różne pojęcia, ale doświadczalnie uznajemy je za to samo. To bardzo wyraźna przesłanka, że są ze sobą ściśle powiązane.

Ciężkie pytania

Podsumujmy, dlaczego masa jest dziwaczna:

Jest dziwaczna, ponieważ masa czegoś nie jest po prostu masą tkwiącej w tym czymś materii. Masa obejmuje również energię, która tę materię spaja. I nie wiemy, dlaczego tak jest.

Jest dziwaczna, ponieważ w rzeczywistości masa przypomina etykietę albo ładunek (tak naprawdę nie jest „czymś”), a nie wiemy, dlaczego pewne cząstki ją mają (albo też oddziałują z polem Higgsa), inne natomiast nie.

I jest dziwaczna, ponieważ wartość masy ciała fizycznego jest dokładnie ta sama bez względu na to, czy mierzy się ją poprzez bezwładność czy poprzez grawitację. I również w odniesieniu do tej kwestii nie wiemy, dlaczego tak jest!

Ciekawe, że – przy całej swojej tajemniczości – tak naprawdę to właśnie masa pomogła nam dokonać postępu w rozumieniu reszty wszechświata. Pamiętaj, że to przecież obracanie się galaktyk i problem brakującej masy dały nam wskazówkę, że we wszechświecie istnieje jakiś niewidzialny nowy rodzaj masy: ciemna materia. W rzeczywistości prawie jedyną rzeczą, którą wiemy o ciemnej materii, jest to, że ma masę, a ściślej mówiąc – masę grawitacyjną.

To niewiarygodne, kiedy się pomyśli, że coś tak fundamentalnego dla naszego istnienia wciąż może pozostawać tajemnicą. Za co płacimy tym wszystkim fizykom, jeśli nie za to, żebyśmy dzięki nim mogli spać spokojnie, wiedząc, że ktoś zajmuje się takimi sprawami? A tu figa: im bardziej człowiek się w to wgryza i im więcej stawia pytań, tym bardziej do niego dociera, jak wiele ciągle jest zagadek na temat masy.

Rzeczą jasną (i zachwycającą) jest to, że masa stanowi fundamentalną właściwość funkcjonowania wszechświata i że najwyraźniej to właśnie ona łączy mnóstwo jego elementów sprawczych (na przykład energię, bezwładność i grawitację). Gdybyśmy dokładnie poznali związki między nimi, przybliżyłoby to nas o kolejny krok do zrozumienia wielkiego i wspaniałego wszechświata, w którym żyjemy. A to by było (dajemy słowo: to już ostatni kalambur) niezwykle ważkie.

---

[1] To wyłącznie tzw. eksperyment myślowy. Nie próbuj wykonywać go w domu.

[2] Może to zależeć od tego, w którą część słonia trafisz. W sumie jednak po przemyśleniu radzimy również tego eksperymentu nie wykonywać w domu.

[3] Nikomu nie udało się zatomizować lamy, ale dokonano podobnych eksperymentów. (Nawiasem mówiąc, nie popieramy atomizacji lam. Chyba że postanowisz tak nazwać swoją kapelę grającą peruwiańskiego punk rocka. W takim wypadku uwielbiamy Atomizację Lam).

[4] Istnieją pewne definicje rozmiaru cząstek dołączające do nich otaczające je cząstki wirtualne, my jednak przyjmujemy ściślejsze podejście.

[5] Opisywanie tego, co nieznane, w kategoriach tego, co znane, jest głównym zadaniem fizyki. Drugim jej głównym zadaniem jest to, żeby fizycy mogli brylować swoją wiedzą na imprezach.

[6] Efekt tunelowy. Zjawisko tak dobrze poznane, że stale wykorzystywane w niektórych supermikroskopach. Naprawdę się zdarza.

[7] No dobrze, trochę ustąpimy: bozon Higgsa jest być może ważniejszy niż przynajmniej jedna z wymienionych rzeczy.

[8] Jeśli naprawdę odpowiedziałeś na którekolwiek z tych pytań, to chyba dobrze, że czytasz ten rozdział.

[9] Prawie nigdy. Być może ciemna energia oraz inflacja kosmologiczna są wynikiem odpychania grawitacyjnego.

[10] Jest to newtonowska wizja oddziaływań grawitacyjnych. Później nauczymy się wersji zgodnej z ogólną teorią względności, w której nie ma oddziaływań grawitacyjnych, a o masie rozsądniej jest myśleć jako o zakrzywieniu przestrzeni.

6

Dlaczego grawitacja tak bardzo się różni od innych oddziaływań?

Mocne pytanie o słabą grawitację

Wiesz, czym jest grawitacja. To ona rządzi ruchem gwiazd, tworzy czarne dziury, a słynnym, choć pogrążonym w mroku niewiedzy fizykom zrzuca jabłka na głowę.

Ale czy tak naprawdę rozumiesz grawitację?

Widzisz jej działanie wszędzie wokół. Jednak kiedy porównujemy sposób, w jaki działa, z prawidłowościami rządzącymi innymi podstawowymi oddziaływaniami, od razu zauważamy, że grawitacja nie do końca się w nie wpasowuje. Jest dziwnie słaba, prawie zawsze raczej przyciąga, niż odpycha, i nie dogaduje się z kwantową wizją świata.

To jej niedopasowanie jest bardzo tajemnicze i irytujące, bo nasze rozumienie wszechświata opiera się na szukaniu prawidłowości. Rozglądając się wokół, możesz czuć się przytłoczony różnorodnością i złożonością naszego pięknego wszechświata, ale z chwilą gdy odnajdujesz pewne prawidłowości, możesz zacząć widzieć w nim sens. Pomyśl na przykład o tym, ile możesz na temat kogoś zrozumieć, jeśli przeanalizujesz prawidłowości widoczne w historii jego przeglądarki internetowej. Ale z drugiej strony może to być akurat ta część wszechświata, której nie chcesz rozumieć.

Chęć dopasowania wszystkiego do dostrzeganych prawidłowości, a co za tym idzie – zrozumienia tego wszystkiego – sprawia, że fizycy aż się ślinią na myśl o połączeniu całej fizyki w jedną teorię[1]. A niedopasowanie grawitacji do prawidłowości właściwych wszystkim innym oddziaływaniom stanowi ogromną przeszkodę utrudniającą osiągnięcie tego celu. W tym rozdziale będziemy zgłębiać, dlaczego właściwie grawitacja jest taka dziwna, dlaczego przyciąga nie tylko do Ziemi i nie tylko takie przeciętne przedmioty jak twoja papaja czy lama. Z grawitacją wiążą się głębokie tajemnice. Rzućmy się więc w tę głębinę. Być może zaczniemy pomału ciążyć w stronę pewnych odpowiedzi.

Słabość grawitacji

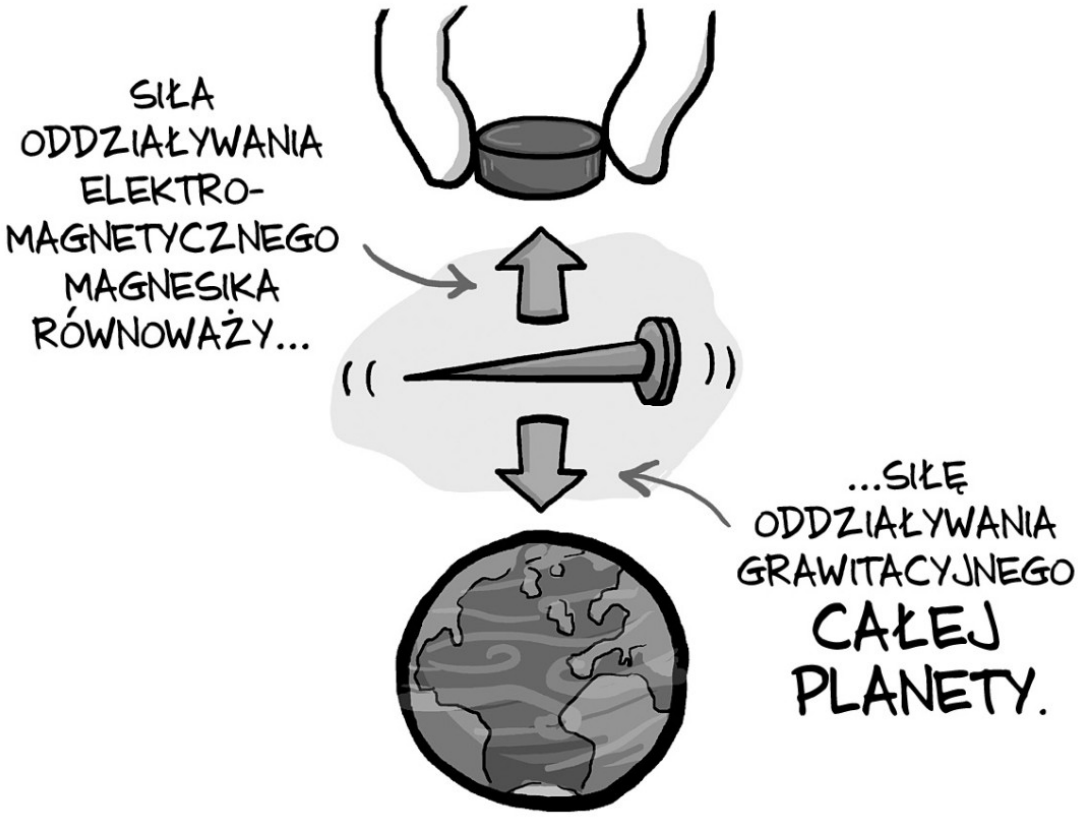
Każdy w trudnej chwili może zadać sobie dramatyczne pytanie: co mnie jeszcze trzyma na tej Ziemi? Znamy na nie odpowiedź: to grawitacja. Bez grawitacji wszyscy odkleilibyśmy się od naszej planety i odfrunęli w przestrzeń, a wszechświat byłby ciemną, gigantyczną, bezkształtną chmurą pyłu i gazu. Nie byłoby w ogóle planet, gwiazd, śmiesznych owoców tropikalnych, galaktyk ani pięknych kobiet i przystojnych mężczyzn, którzy kupują skrzące się humorem książki o fizyce. Grawitacja jest potężna. Ale tak naprawdę jest też bardzo słaba.

Jak słaba jest grawitacja? Z grubsza rzecz biorąc, grawitacja jest jakieś 10^{36} razy słabsza niż pozostałe trzy oddziaływania podstawowe. W postaci ułamka zapiszemy to następująco: 1/1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000.

Jak możemy zrozumieć taką liczbę? Zapożyczymy metodę z lekcji nauki ułamków z pierwszej klasy. Gdybyś miał papaję i przeciął ją na cztery części, każda część byłaby ćwiartką papai. Łatwizna. Gdybyś miał

papaję i przeciął ją na 10^{36} części, każda część byłaby… mniej niż jedną cząsteczką papai[2]. W rzeczywistości musiałbyś pociąć jakieś dwa miliony papai, aby ułamek rzędu $1/10^{36}$ był równy mniej więcej jednej cząsteczce papai.

Dobrą metodą na uzmysłowienie sobie słabości grawitacji jest mały eksperyment, który zestawia ją z innymi oddziaływaniami. Do jego przeprowadzenia nie musisz instalować w piwnicy zderzacza cząstek. Wystarczy zwykły magnes do tablicy, za którego pomocą podniesiemy gwoździk. Eksperyment pokaże ci, że chociaż gwoździk jest przyciągany do dołu przez oddziaływanie grawitacyjne całej planety (Ziemi), to jednak oddziaływanie magnetyczne z magnesikiem wystarcza, by gwoździk nie spadł. Maleńki magnes pokonuje całą planetę, ponieważ magnetyzm jest dużo, dużo silniejszy niż grawitacja.



Być może w tym momencie zastanawiasz się: skoro oddziaływanie grawitacyjne jest trzydzieści sześć rzędów wielkości słabsze niż wszystkie inne oddziaływania, jak to możliwe, że grawitacja jest aż tak ważna w naszym wszechświecie? Czy otaczające ją potężniejsze oddziaływania nie zdmuchną jej, czy nie zniknie jak ciche kichnięcie w tornadzie?[3] Jak jej się udaje trzymać razem wszystkie te planety i gwiazdy, jak to możliwe, że to wszystko nie fruwa sobie swobodnie dokoła niczym stado Supermanów? Jeśli inne oddziaływania rzeczywiście są takie silne, to czy nie powinny zmiażdżyć grawitacji i całkowicie wyzerować jej wpływu na wszechświat?

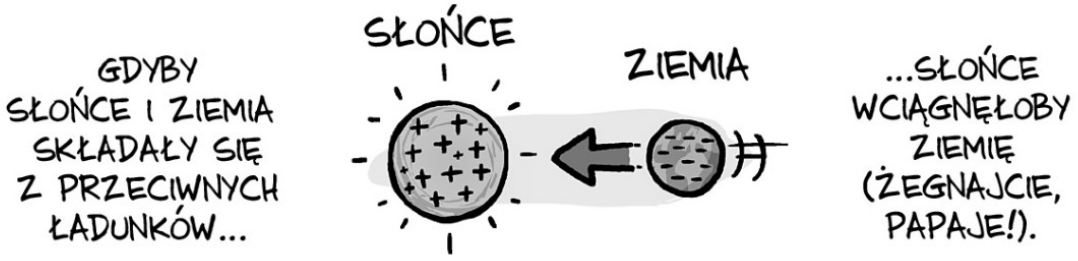
Kluczem do odpowiedzi jest to, że grawitacja ma ogromne znaczenie w wielkiej skali i w odniesieniu do olbrzymich mas. Oddziaływania słabe i silne mają niewielki zasięg, dlatego podatność na nie występuje w większości jedynie na poziomie subatomowym. Natomiast powodem tego, że oddziaływania elektromagnetyczne nie odgrywają znaczącej roli w ruchach gwiazd i galaktyk, chociaż w porównaniu z grawitacją są to olbrzymie siły, jest ciekawa cecha grawitacji: działa ona głównie w jedną stronę.

Grawitacja działa tylko tak, że ściąga rzeczy nawzajem do siebie, a nie tak, że je od siebie odpycha[4]. Powód jest prosty: siła grawitacji jest proporcjonalna do masy przedmiotów, między którymi występuje, a istnieje tylko jeden rodzaj masy, jaki przedmiot może mieć – dodatni. Natomiast oddziaływania elektromagnetyczne dotyczą dwóch rodzajów ładunku elektrycznego (dodatniego i ujemnego), a oddziaływania słabe i silne charakteryzowane są przez takie właściwości przypominające ładunek elektryczny, jak hiperładunek oraz kolor, które również mogą mieć wielorakie wartości[5]

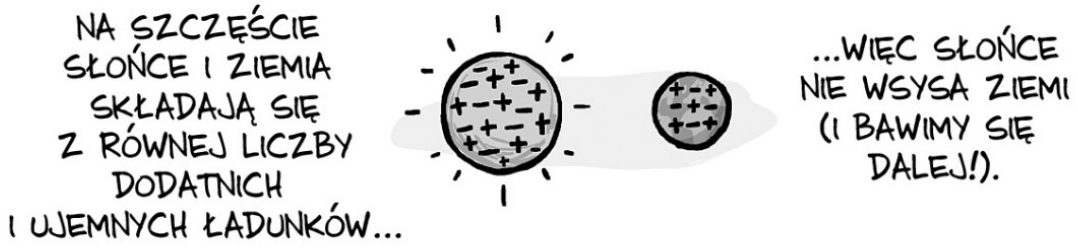
.

Z grawitacją jest jakby trochę podobnie, ale niezupełnie. Możesz wyobrazić sobie masę jako „ładunek grawitacyjny” cząstki, który decyduje o tym, jak silnie doznaje ona oddziaływania grawitacji. Ale nie ma masy ujemnej. Grawitacja nie odpycha cząstek obdarzonych masą.

To ważne, ponieważ dzięki temu wiemy, że grawitacji nie da się zrównoważyć, zredukować jakimś przeciwnym oddziaływaniem. Tak dzieje się z oddziaływaniem elektromagnetycznym w skali makro. Gdyby Słońce składało się głównie z dodatnich ładunków elektrycznych, a Ziemia – głównie z ujemnych, wówczas ich przyciąganie byłoby olbrzymie i Słońce wciągnęłoby naszą planetę już dawno temu.



Ponieważ jednak Ziemia składa się z niemal równej liczby dodatnich i ujemnych ładunków, a Słońce również składa się z niemal równej liczby dodatnich i ujemnych ładunków, pod względem elektromagnetycznym jest tak, jakby zasadniczo na siebie nie oddziaływały. Każda dodatnia i każda ujemna cząstka Ziemi jest zarazem przyciągana i odpychana przez ujemne i dodatnie ładunki w Słońcu (i *vice versa*), wobec czego wszystkie te oddziaływania elektromagnetyczne kompensują się nawzajem.



To nie przypadek. Oddziaływanie elektromagnetyczne jest tak potężne, że będzie przemieszczało obiekty przyciąganiem i odpychaniem ich ładunków dopóty, dopóki nie znikną ostatnie resztki braku równowagi. Już na bardzo wczesnym etapie istnienia wszechświata (kiedy miał dopiero 400 000 lat, czyli w okresie prepapajowym) praktycznie cała materia ustabilizowała się w postaci obojętnych atomów, a oddziaływania elektromagnetyczne osiągnęły równowagę.

Skoro między Ziemią a Słońcem nie ma czystego oddziaływania elektromagnetycznego oraz skoro oddziaływania słabe i silne nie działają na odległościach o tej skali, jedynym oddziaływaniem, które pozostaje, jest grawitacja. To wyjaśnia, dlaczego grawitacja dominuje w skali planet i galaktyk: ponieważ wszystkie pozostałe oddziaływania znajdują się w równowadze. Chociaż grawitacja jest tak pociągająca, jej sytuacja przypomina los ostatniego gościa na przyjęciu, który został sam z papają w ręku, podczas gdy wszyscy inni znaleźli sobie kogoś, z kim wrócą do domu. A ponieważ grawitacja wyłącznie przyciąga, nigdy sama się nie kompensuje.

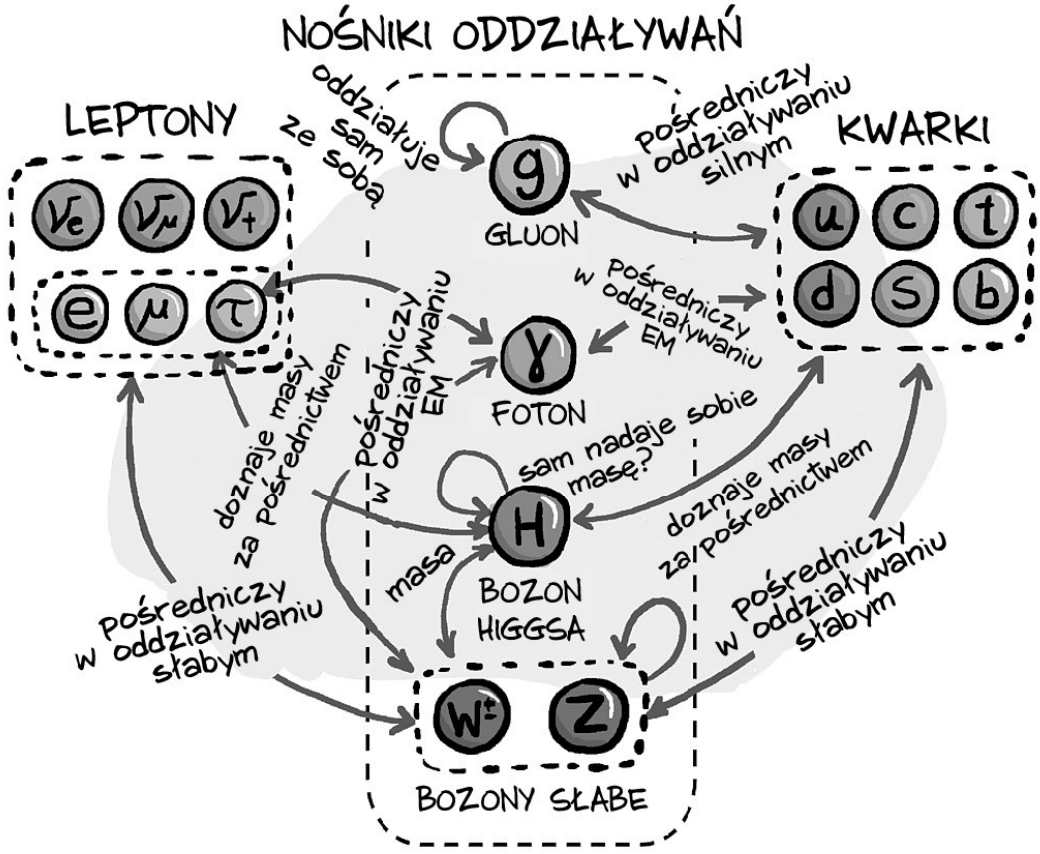
Mamy więc dwie ciekawe i jak dotąd niewyjaśnione właściwości grawitacji: po pierwsze jest naprawdę bardzo słaba w porównaniu do innych oddziaływań podstawowych. Wyobraź sobie, że ma się odbyć wielka walka i wszyscy oprócz grawitacji przynieśli ze sobą miecze świetlne – ta wzięła ze sobą tylko wykałaczkę. Drugą dziwną własnością grawitacji jest to, że wyłącznie przyciąga. Wszystkie pozostałe oddziaływania przyciągają albo odpychają w zależności od ładunku poddawanych im cząstek. Dlaczego grawitacja jest pod tym względem taka odmienna? Nie mamy pojęcia.

Zagadka kwantowa

Grawitacja prawie – ale niezupełnie – wpasowuje się w schemat wyznaczony przez pozostałe trzy oddziaływania podstawowe. Możemy o niej myśleć jak o oddziaływaniu (jak w wypadku wszystkich pozostałych), a o masie jak o ładunku. Grawitacja jest jednak dużo słabsza i działa tylko w jedną stronę. Ta pozorna niespójność wśród oddziaływań oznacza albo to, że nasz schemat jest niesłuszny, albo to, że nie dostrzegamy czegoś wielkiego.

Okazuje się, że grawitacja jest dziwaczna jeszcze pod innymi, głębszymi względami. Dysponujemy pewnym sposobem rozumienia wszystkich cząstek materii oraz trzech z czterech oddziaływań podstawowych w określonej strukturze matematycznej zwanej mechaniką kwantową. W mechanice kwantowej wszystko opisuje się jako cząstki, nawet te trzy oddziaływania. Kiedy jakiś elektron odpycha inny elektron, nie używa Mocy ani jakiejś innej formy niewidzialnej telekinezy, by ten drugi elektron wprawić w ruch. Fizycy wyobrażają sobie to oddziaływanie w ten sposób, że jeden elektron wyrzuca w kierunku drugiego jeszcze inną

cząstkę, by przekazać mu część jej pędu. W wypadku elektronów te nośniki oddziaływań nazywa się fotonami. W wypadku oddziaływań słabych cząstki wymieniają między sobą bozon W i bozon Z. Cząstki, które doznają oddziaływania silnego, wymieniają gluony[6].



ODDZIAŁYWANIA CZĄSTEK: BARDZIEJ SKOMPLIKOWANE NIŻ ARGENTYŃSKA TELENOWELA

Okazuje się, że ta struktura mechaniki kwantowej, model standardowy fizyki cząstek elementarnych z rozdziału 4, jest niesamowicie skuteczna jako opis większości świata natury (jak być może pamiętasz, przez „większość” rozumiemy gigantyczne 5 procent wszechświata…). Ujęcie świata w kategoriach cząstek kwantowych potrafi wyjaśnić wiele wyników

eksperymentów, pozwoliło nam także przewidzieć różne rzeczy, o których wcześniej nie wiedzieliśmy, na przykład istnienie innych cząstek materii czy bozonu Higgsa. Tłumaczy nawet, dlaczego oddziaływanie słabe ma tak krótki zasięg: jego nośniki mają wielką masę, co ogranicza im zakres możliwych do przebycia odległości. Jednak z modelem standardowym wiąże się wielki problem: to samo podejście nie całkiem się sprawdza w opisie grawitacji.

Grawiton: cząstka elementarna czy złoczyńca z komiksu?

Mechanice kwantowej nie udaje się opisać grawitacji z dwóch powodów. Po pierwsze wpasowanie grawitacji w model standardowy wymaga jakiejś cząstki, która przekazuje oddziaływanie grawitacyjne. Fizycy dla tej hipotetycznej cząstki zaproponowali kreatywną nazwę: „grawiton”. Gdyby istniała, oznaczałoby to, że dokładnie w chwili, gdy właśnie sobie siedzisz (albo stoisz) i przyciąga cię grawitacja, wszystkie cząstki w twoim ciele nieustannie przerzucają się z wszystkimi innymi znajdującymi się pod tobą cząstkami Ziemi maleńkimi kwantowymi kuleczkami. A ponieważ Ziemia krąży wokół Słońca, pomiędzy wszystkimi cząstkami Ziemi a wszystkimi cząstkami Słońca płynąłby nieprzerwany strumień wymienianych grawitonów. Problem polega na tym, że nikt nigdy grawitonu nie widział, wobec czego teoria ta może być całkowicie błędna.

TO NIE LENISTWO: W MIEJSCU TRZYMA CIĘ
KAŻDA CZĄSTKA TEJ OGROMNEJ PLANETY

Drugą przyczyną, dla której fizycy mają kłopot z włączeniem grawitacji do mechaniki kwantowej, jest to, że mamy już świetną teorię grawitacji, tę, którą wymyślił Einstein w 1915 roku. Nazywa się ona ogólną teorią względności i bez niczyjej pomocy całkiem dobrze sobie radzi. Ujmuje grawitację w zupełnie inny sposób: zamiast myśleć o grawitacji jako o sile oddziałującej między dwoma przedmiotami, Einstein potraktował ją jako zniekształcenie samej przestrzeni. Co to znaczy? Einstein uświadomił sobie, że grawitacja staje się prosta, kiedy człowiek przestanie myśleć o przestrzeni jako o abstrakcyjnym pojęciu, niewidzialnym tle dla całej materii, a zamiast tego zacznie ją sobie wyobrażać jako dynamiczną ciecz albo elastyczny arkusz. Obecność materii (lub energii) zakrzywia przestrzeń wokół niej, zmieniając trajektorie obiektów. W obrazie stworzonym przez Einsteina nie ma oddziaływania grawitacji, tylko zniekształcenie przestrzeni.

Zgodnie z ogólną teorią względności Ziemia nie odfrunęła swobodnie w przestrzeń i krąży wokół Słońca nie dlatego, że istnieje jakaś siła, która ją ciągnie po orbicie. Krąży wokół Słońca, ponieważ przestrzeń wokół Słońca zniekształcona jest w taki sposób, że to, co wygląda na prostą linię do Ziemi, jest w rzeczywistości okręgiem (albo elipsą). W takim scenariuszu masa grawitacyjna nie jest ładunkiem, który pewne cząstki mają, a inne nie; jest miarą tego, jak bardzo jakiś przedmiot jest zdolny do zakrzywienia otaczającej go przestrzeni. Choć teoria ta może brzmieć dziwacznie, okazała się bardzo skuteczna w opisie grawitacji lokalnej, grawitacji kosmicznej i wielu innych dziwnych rzeczy, które obserwujemy w odległej przestrzeni. Wyjaśnia ona, dlaczego światło zakrzywia się wokół obiektów i dlaczego działa twój GPS, a także pozwala przewidzieć istnienie czarnych dziur.

Problem polega na tym, że ogólna teoria względności funkcjonuje bardzo dobrze, a zatem sądzimy, że zapewne jest poprawnym opisem natury, ale nie potrafimy jej połączyć z tamtą drugą podstawową teorią, mechaniką kwantową, która również wydaje nam się poprawnym opisem natury.

Po części problem ten bierze się z tego, że obie teorie w zupełnie odmienny sposób ujmują świat. Mechanika kwantowa traktuje przestrzeń jak płaskie tło, natomiast ogólna teoria względności mówi nam, że przestrzeń jest elementem czegoś dynamicznego, elastycznego: czasoprzestrzeni. A więc czy grawitacja to zniekształcenie przestrzeni czy też kwantowe kuleczki latające między cząstkami? Wszystko inne w naszym wszechświecie to mechanika kwantowa, dlatego sensowne by było, gdyby grawitacja stosowała się do tych samych zasad, ale jak dotąd nie pojawił się żaden dowód, który by nas przekonał o istnieniu grawitonów.

GRAWITACJA POTRAFI ZEPSUĆ KAŻDĄ IMPREZĘ

Jeszcze bardziej problematyczne jest to, że nie potrafimy nawet przewidzieć, jak mogłaby wyglądać taka połączona teoria kwantowej grawitacji. Fizycy często potrafili przewidzieć istnienie cząstek, które później odkrywano doświadczalnie (na przykład kwarka wysokiego albo bozonu Higgsa), dotychczas jednak wszystkie teorie, za których pomocą próbowaliśmy połączyć grawitację i mechanikę kwantową, zawiodły; ciągle prowadzą do bezsensownych wyników, na przykład do „nieskończoności”. Teoretycy to mądra banda (w teorii) i mają sporo dobrych pomysłów, które pewnego dnia mogą doprowadzić do jakiejś połączonej teorii – takiej jak teoria strun albo teoria pętlowej grawitacji kwantowej – ale szczerze mówiąc, jak dotąd postęp w tej dziedzinie jest powolny. W rozdziale 16 omówimy teorie, które łączą całą naszą wiedzę.

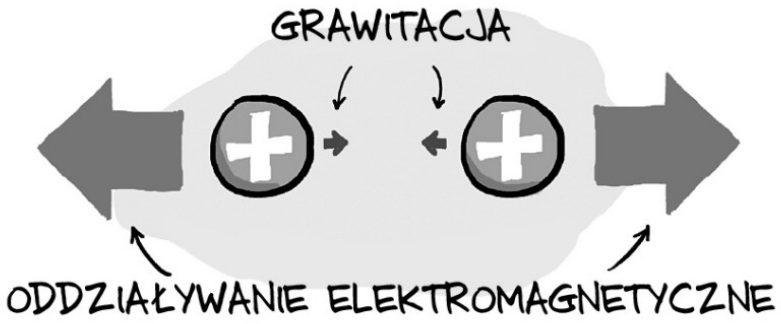
Zderzacze czarnych dziur

Podsumujmy: ponieważ grawitacja wydaje się tak odmienna od pozostałego rodzeństwa oddziaływań, to powszechnie przypuszcza się, że albo została adoptowana… albo coś więcej na ten temat wie tylko pani Wszechświat.

Grawitacja jest dużo słabsza niż pozostałe oddziaływania, działa tylko w jedną stronę (przyciąga, nie odpycha), wydaje się, że nie pasuje do tej samej teoretycznej struktury co inne oddziaływania, i nie mamy pojęcia dlaczego. Są to jedne z największych tajemnic we wszechświecie. Jak możemy rozwiązać te zagadki?

Jedna z prób zrozumienia, jak działa świat, polega na sprawdzaniu tego na drodze eksperymentów, a następnie na wpadaniu na genialne pomysły, które wyjaśniają to, co widzimy. Najlepiej by było, gdybyśmy mogli jednocześnie sprawdzić ogólną teorię względności (klasyczne rozumienie grawitacji) i mechanikę kwantową, by się przekonać, która jest poprawna (o ile któraś jest), a która się nie sprawdza. Na przykład zaobserwowanie dwóch mas wymieniających grawiton stanowiłoby rozstrzygający dowód, że grawitacja to zjawisko kwantowe.

Byłoby świetnie, ale pomyśl, jak trudno przeprowadzić taki eksperyment. Pamiętaj, że grawitacja jest naprawdę słaba. Nawet grawitacja całej Ziemi nie jest na tyle silna, by pokonać oddziaływanie elektromagnetyczne maleńkiego magnesu. Gdybyś zbliżył do siebie dwie cząstki, oddziaływanie grawitacyjne między nimi byłoby praktycznie zerowe – zostałoby całkowicie zdominowane przez potężne oddziaływania: elektromagnetyczne, słabe i silne.

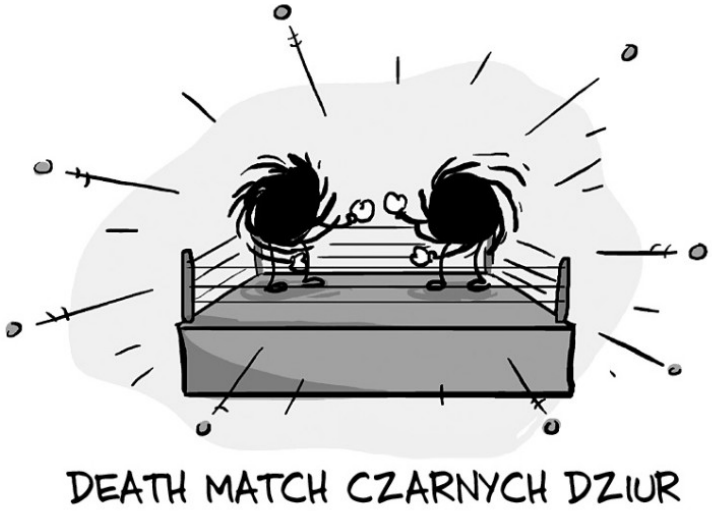


Aby zaobserwować grawitony, potrzebujemy mnóstwa masy. Potrzebujemy sytuacji doświadczalnej, w której zderzylibyśmy ze sobą ogromne masy o kosmicznych rozmiarach, masy mające wszystkie pozostałe oddziaływania w stanie równowagi. Nie, nie chodzi nam po głowie zderzenie miliona kilogramów papai[7]. Wytęż wyobraźnię do granic wytrzymałości i spróbuj sobie jakoś uzmysłowić niesamowity pomysł… zderzacza czarnych dziur!

Wpadające na siebie dwa obiekty o kosmicznej masie – właśnie tego potrzebowałbyś do zbadania grawitacji na poziomie kwantowym. Rzecz jasna czegoś takiego nie da się zbudować ani zorganizować (rozsądne szacunki budżetowe wskazują na to, że przy takim projekcie koszt stworzenia Gwiazdy Śmierci wypada raczej blado). Mamy jednak to szczęście, że wszechświat jest przepastnym miejscem pełnym osobliwości. Jeśli wystarczająco długo poszukasz, możesz znaleźć prawie wszystko, czego ci potrzeba, nawet zderzające się czarne dziury.

Do takich zderzeń nie dochodzi według żadnego harmonogramu, nie są też powtarzalne, ale co jakiś czas czarne dziury zbliżają się do siebie na tyle blisko, że jedna próbuje wessać w siebie drugą. I właśnie czegoś takiego poszukują naukowcy. Są takie miejsca w kosmosie, gdzie czarne dziury wpadają w spiralę śmierci; ich zderzenie mogłoby zatem doprowadzić do wystrzelenia grawitonów we wszystkie strony. Teraz wystarczy tylko to zaobserwować! Okazuje się, że to nie takie proste. Nawet grawitony wytworzone przez zderzacz czarnych dziur będzie bardzo trudno wypatrzyć. Słabość grawitacji oznacza, że nawet gdyby grawiton przeszedł przez ciebie na wylot, wcale byś tego nie poczuł. Pamiętasz neutrina, cząstki, które niczym zjawa przenikają przez lata świetlne ołowiu? Przy grawitonach neutrina wydają się arcytowarzyskie i zaczepiają po drodze każdego, z kim tylko mogą porozmawiać. Pewne obliczenia wskazują

wręcz, że gdybyśmy zbudowali detektor o rozmiarach Jowisza, mógłby on wychwycić grawiton raz na dziesięć lat, i to nawet gdyby umieścić go w pobliżu intensywnego źródła grawitonów.



Zachowajmy odrobinę realizmu i zajrzyjmy do czarnej dziury

Jeśli zobaczenie pojedynczego grawitonu jest niemożliwe, to jak inaczej możemy zrozumieć, czy grawitację wyjaśnia teoria kwantowa czy nie? Innym sposobem, by się o tym przekonać, jest znalezienie takiej sytuacji fizycznej, w której przewidywania tych dwóch teorii nie zgadzają się ze sobą. Na przykład nieco mniej nierealnym scenariuszem jest zbadanie wnętrza czarnej dziury.

Ogólna teoria względności mówi, że w centrum czarnej dziury istnieje coś takiego jak osobliwość – punkt, w którym materia jest tak gęsta, że pole grawitacyjne staje się nieskończone. Byłoby to odurzające doświadczenie, ponieważ czasoprzestrzeń zniekształciłaby cię poza granice intuicyjnego rozumienia. Ogólna teoria względności nie ma problemu z istnieniem

takich zjawisk, natomiast mechanika kwantowa się z tym nie zgadza. Zgodnie z zasadami mechaniki kwantowej niemożliwe jest wyizolowanie czegokolwiek dokładnie do jednego punktu (na przykład osobliwości), ponieważ zawsze pozostaje jakaś nieoznaczoność. Zatem jedna z tych dwóch teorii musi w tej sytuacji się rozpaść. Gdybyśmy wiedzieli, co naprawdę się dzieje wewnątrz czarnej dziury, uzyskalibyśmy ważne wskazówki na temat tego, jak mechanika kwantowa i grawitacja ze sobą współgrają. Niestety obecnie szanse na to, by zwiedzić czarną dziurę, przeprowadzić tam odpowiednie eksperymenty, wymknąć się z pola grawitacyjnego, z którego nie da się wymknąć, i wrócić z wynikami na Ziemię, wydają się beznadziejne.

To by było tyle

Chociaż nie możemy wykorzystać czarnych dziur do odkrycia grawitonów, to i tak na podstawie śmiertelnych spirali czarnych dziur możemy wiele się dowiedzieć, ponieważ potrafią one wytwarzać fale grawitacyjne.

Fale grawitacyjne są zmarszczkami przestrzeni wywołanymi przez przyspieszające masy. Przypomina to skutki zanurzenia ręki w wannie wypełnionej wodą i poruszania nią. Ręka poruszająca się w wodzie przesyła zmarszczki po wodzie aż na drugi koniec wanny. To samo dzieje się wówczas, gdy obdarzone ogromną masą obiekty poruszają się w przestrzeni. Poruszająca się masa wygina samą przestrzeń, tworząc zakłócenie, które potrafi się rozchodzić jak fala.

Fajne w tym wszystkim jest to, że wraz z przejściem fali grawitacyjnej wszystko na jej drodze zostaje naciągnięte i zniekształcone. Okrąg na chwilę stanie się elipsą, a kwadrat – prostokątem. Brzmi świetnie, no nie? Zanim przestaniesz czytać, żeby sprawdzić, czy książka zmienia kształt, być może warto, żebyś wiedział, że fale grawitacyjne zniekształcają przestrzeń tylko o ułamek rzędu jakichś 10^{-20}. Oznacza to, że gdybyś miał kij o długości 10^{20} milimetrów (dziesięć lat świetlnych), fala grawitacyjna skróciłaby go o milimetr. To efekt trudny do zmierzenia.

Ale naukowcy potrafią być pomysłowi i cierpliwi. Stworzyli obserwatorium LIGO: Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory – Obserwatorium Fal Grawitacyjnych wykorzystujące Interferometr Laserowy. Składa się on z dwóch schodzących się pod kątem prostym tuneli o długości czterech kilometrów każdy i wykorzystuje laser do mierzenia zmian w odległości między końcami tuneli. Kiedy przechodzi przez nie fala grawitacyjna, naciąga przestrzeń w jednym kierunku, a ściska

w drugim. Mierząc zakłócenia laserów odbijających się od końców tuneli, fizycy mogą bardzo dokładnie zmierzyć, czy przestrzeń między nimi się rozciąga czy kurczy.

W 2016 roku, po wydaniu 620 milionów dolarów i dekadach oczekiwania, naukowcy zaobserwowali pierwszą falę grawitacyjną. Było to wspaniałe potwierdzenie koncepcji Einsteina o grawitacyjnym zakrzywianiu przestrzeni. Niestety nie daje nam to żadnego kwantowego wyobrażenia o działaniu grawitacji, ponieważ fale grawitacyjne to nie to samo co grawitony. To tak, jakbyśmy dowiedli, że istnieje światło, ale nie

że składa się z fotonów. Było to jednak ważne, a nawet ważkie odkrycie (sorry, ale jakoś tak ciężko nam nie ciążyć ku tym grawitacyjnym żartom).

Może grawitacja jest wyjątkowa?

Jakie zatem są możliwe wyjaśnienia tajemnic grawitacji? Dlaczego jest tak słaba i dlaczego nie pasuje do schematu oraz teorii opisujących pozostałe oddziaływania?

Może być tak, że grawitacja jest wyjątkowa. Nie ma jakiejś zasady, która by mówiła, że grawitacja musi być podobna do pozostałych oddziaływań ani że musi istnieć jedna rządząca nimi wszystkimi teoria. Powinniśmy zawsze pamiętać o szerszej perspektywie: że wciąż znajdujemy się w mrokach niewiedzy na temat większości podstawowych prawd o wszechświecie. W wielu wypadkach nasze wcześniejsze przypuszczenia okazywały się błędne albo prawdziwe tylko w pewnych szczególnych warunkach. Może być tak, że grawitacja jest zupełnie inna od

wszystkiego, co dotychczas widzieliśmy. Albo i nie. Pamiętaj, że naszym celem jest zrozumienie wszechświata, więc powinniśmy unikać przyjmowania zbyt wielu założeń wynikających z tego, co nam się wydaje.

Gdyby się okazało, że grawitacja jest wyjątkowa i że faktycznie różni się od innych oddziaływań podstawowych, byłoby to również pewną wskazówką co do szerszego obrazu. Mogłoby to znaczyć, że grawitacja jest czymś głębszym, czymś misternie wplecionym w samą tkankę kosmosu. Czasem więcej dowiadujemy się dzięki wyjątkom niż dzięki zasadom. A nie brakuje fascynujących pomysłów, jak te tajemnice wyjaśnić.

Fantastycznym wyjaśnieniem „słabości" grawitacji jest pomysł istnienia dodatkowych wymiarów. Nie chodzi o wszechświat równoległy, wymiary alternatywne – w rodzaju tych, które znasz z komiksów – lecz o więcej wymiarów w przestrzeni niż te, w których się poruszasz. Niektórzy fizycy proponują wyjaśniać „słabość" grawitacji jej rozrzedzeniem w tych pozostałych wymiarach, tworzących niewidoczne dla nas małe pętle. Jeśli się uwzględni te dodatkowe wymiary, to grawitacja staje się równie silna jak pozostałe oddziaływania. Więcej o tym pomyśle powiemy w rozdziale 9.

Wprawdzie wspomnieliśmy o pewnych trudnościach, jakie napotyka próba połączenia mechaniki kwantowej i ogólnej teorii względności oraz wykrycia grawitonu, nie znaczy to jednak, że fizycy zrezygnowali z pomysłu stworzenia połączonej teorii, która potrafi wyjaśnić wszystkie

oddziaływania, o jakich wiemy. Jak blisko jesteśmy opracowania jednego prostego wzoru, który to wszystko uwzględni? Zbadamy to w rozdziale 16.

Co by to mogło znaczyć?

Zrozumienie tajemnic grawitacji miałoby olbrzymi wpływ na rozumienie otaczającego nas świata. Pamiętaj, że grawitacja jest zasadniczo jedynym oddziaływaniem, które działa w skali makro, co oznacza, że tylko ona jedna spośród czterech oddziaływań podstawowych określa kształt i ostateczny los wszechświata.

To, że grawitacja zakrzywia i zniekształca przestrzeń oraz czas, mogłoby również prowadzić do stworzenia pewnych fascynujących wręcz możliwości. Przy obecnym stanie wiedzy najprawdopodobniej nigdy nie zawędrujemy do innego układu planetarnego poza naszym własnym. Po prostu dzielące je od nas odległości są zbyt duże. Jeśli jednak uda się nam

pojąć tajemnice grawitacji, może nas to doprowadzić do głębszego zrozumienia mechanizmu zakrzywiania i modyfikowania przestrzeni oraz sposobów tworzenia i obsługi tuneli czasoprzestrzennych. Gdyby tak się stało, wówczas mogłyby się spełnić nasze najbardziej szalone marzenia o podróżowaniu po wszechświecie dzięki zaginaniu czasoprzestrzeni. A grawitacja może być do tego kluczem.

Kto powiedział, że oddziaływania grawitacyjne zawsze każą ci twardo stąpać po ziemi?

---

[1] Nie ukrywajmy tego: fizycy niewątpliwie się ślinią.

[2] Cząsteczki papai nazywają się papajony, są maleńkie i słodkie.

[3] Albo jak (nawet niekoniecznie ciche) pierdnięcie w huraganie.

[4] Jest tak prawie zawsze: zob. rozdział 14, gdzie omawiamy grawitację odpychającą podczas Wielkiego Wybuchu.

[5] Oddziaływanie silne ma więcej niż dwa rodzaje „ładunku”. Ma trzy! Nazywa się je kolorami i mówi się o kolorze „czerwonym”, „niebieskim” oraz „zielonym”. Dla zrównoważenia ładunku czerwonego można albo dodać cząstkę niebieską i cząstkę zieloną, uzyskując przedmiot obojętny lub „biały”, albo też znaleźć antycząstkę o kolorze antyczerwonym.

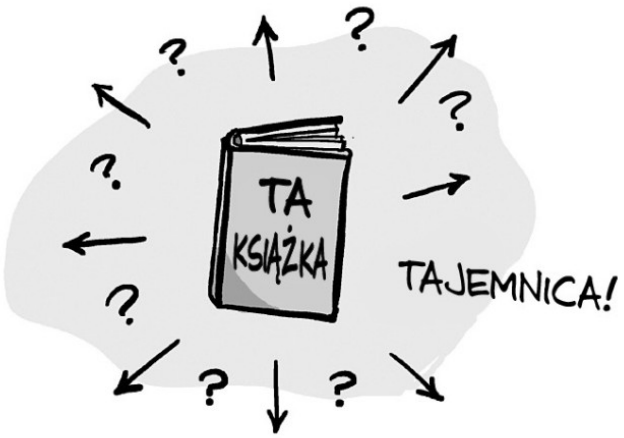
[6] Pewnie nam nie wierzysz, bo poprzednio zmyśliliśmy „papajony”, ale gluony naprawdę istnieją!

[7] No dobrze, teraz już nam to po głowie chodzi.

7

Co to jest przestrzeń?

I dlaczego zajmuje tyle miejsca?



Kilka pierwszych rozdziałów tej książki było poświęconych tajemnicom materii: jakie są jej najmniejsze elementy i jak ze sobą współdziałają, tworząc wszechświat? Jednak nawet gdy poszukujemy odpowiedzi na pytania o otaczające nas konkretne obiekty, w tle czai się pewna wielka tajemnica. Tą tajemnicą jest samo to tło: przestrzeń.

No bo co to właściwie jest przestrzeń?

Poproście grupę fizyków i filozofów, by zdefiniowali przestrzeń, a najprawdopodobniej ugrzęźniecie w długiej dyskusji, w której będą używać naukowo brzmiących, ale nic nieznaczących połączeń słów, takich jak: „już nawet tkanka samej czasoprzestrzeni jest fizycznym przejawem pojęć kwantowej entropii, splatanych ze sobą uniwersalnym charakterem położenia”. Jeśli się nad tym dłużej zastanowić, być może powinieneś unikać wszczynania rozmów na tak głębokie tematy między filozofami a fizykami.

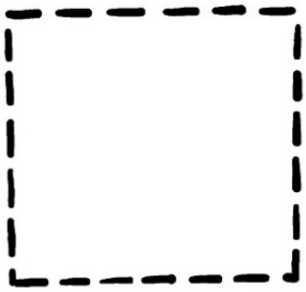
Czy przestrzeń to po prostu umiejscowiona niejako pod wszystkim nieskończona pustka? Czy może to pustka pomiędzy rzeczami? A jeśli przestrzeń nie jest ani jednym, ani drugim, tylko czymś materialnym, czymś, co potrafi rozlewać się wszędzie wokół, jak woda z napełnionej po brzegi wanny?

Okazuje się, że sama natura przestrzeni jest jedną z największych i najdziwniejszych tajemnic we wszechświecie. Więc przyszykuj się na to, że za chwilę wszystko zacznie się… rozprzestrzeniać.

Przestrzeń to coś

Podobnie jak wiele innych poważnych pytań, pytanie o to, czym jest przestrzeń, początkowo wydaje się proste. Kiedy jednak zakwestionujesz własną intuicję i ponownie je sobie zadasz, odkryjesz, że trudno znaleźć na nie jasną odpowiedź.

Większość ludzi wyobraża sobie, że przestrzeń to po prostu pustka, w której istnieją rzeczy, coś w rodzaju wielkiego pustego magazynu albo sceny w teatrze, na której rozgrywają się wydarzenia wszechświata. Zgodnie z tą wizją przestrzeń jest dosłownie brakiem rzeczy; próżnią czekającą, aż zostanie czymś wypełniona. Próżnią, pustym miejscem. To znaczenie przestrzeni mamy na myśli, gdy mówimy: „Zostawiłem sobie miejsce na deser”, albo: „Znalazłem świetne miejsce parkingowe”.



EKSPONAT A: PRZESTRZEŃ

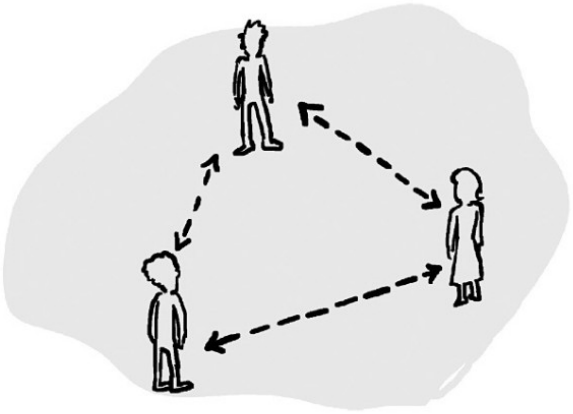
Kiedy podzielasz taki punkt widzenia, to przestrzeń wydaje ci się czymś, co może istnieć samo z siebie, nie mając żadnej materii, która by ją

wypełniła. Gdybyś na przykład przyjął, że we wszechświecie jest skończona ilość materii, mógłbyś sobie wyobrazić, że w swoich podróżach kosmicznych dotarłbyś kiedyś do punktu, za którym nie ma już więcej niczego, a cała materia została z tyłu[1]. Stanąłbyś przed czystą, pustą przestrzenią i jak okiem sięgnąć mogłaby ona rozciągać się w nieskończoność. Zgodnie z tym poglądem przestrzeń to ciągnąca się bez końca pustka.

Czy coś takiego może istnieć?

To wyobrażenie przestrzeni jest sensowne i wydaje się pokrywać z naszym doświadczeniem. Ale jedną z nauk, jakie wyciągamy z historii, jest to, że ilekroć uważamy coś za prawdziwe i oczywiste (np. że Ziemia jest płaska albo że zjedzenie mnóstwa delicji będzie dla nas dobre), powinniśmy zachować sceptycyzm i cofnąć się o krok, by dokładnie to zbadać. Więcej: powinniśmy rozważyć radykalnie odmienne wyjaśnienia, które również opisują to samo doświadczenie. Może istnieją koncepcje, o których nie pomyśleliśmy? A może dałoby się rozwinąć teorie, w których to, jak doświadczamy wszechświata, stanowi tylko jeden z dziwacznych przykładów? Czasem główny kłopot polega na wskazaniu własnych założeń, szczególnie gdy wydają się takie naturalne i proste.

W tym wypadku istnieją inne sensownie brzmiące pomysły na temat tego, czym mogłaby być przestrzeń. A co by było, gdyby przestrzeń nie mogła istnieć bez materii – gdyby nie była niczym więcej niż relacją między materią? Zgodnie z tym poglądem nie można mówić o czystej „pustej przestrzeni”, ponieważ wyobrażenie jakiejkolwiek w ogóle przestrzeni wolnej od najdrobniejszego elementu materii nie ma żadnego sensu. Nie można na przykład zmierzyć odległości między dwiema cząstkami, jeśli nie ma żadnych cząstek. Pojęcie przestrzeni kończyłoby się tam, gdzie nie ma już mogących ją określić cząstek materii. Co byłoby poza tym punktem? Żadna pusta przestrzeń.



EKSPONAT B: PRZESTRZEŃ

To całkowicie dziwaczne i sprzeczne z intuicją myślenie o przestrzeni, szczególnie gdy weźmie się pod uwagę, że nigdy nie poznaliśmy

doświadczalnie pojęcia nieprzestrzeni. Ale to, co dziwaczne, nigdy nie powstrzymało fizyki, dlatego zachowaj otwarty umysł.

Co to za przestrzeń?

Które z tych wyobrażeń na temat przestrzeni jest właściwe? Czy przestrzeń przypomina nieskończoną pustkę, która czeka na wypełnienie? Czy może istnieje tylko w kontekście materii?

Jak się okazuje, mamy niemal całkowitą pewność, że przestrzeń nie jest ani jednym, ani drugim. Przestrzeń na pewno nie jest pustą otchłanią i na pewno nie jest tylko relacją między materią. Wiemy to, ponieważ widzieliśmy takie własności przestrzeni, które nie pasują do żadnego z tych wyobrażeń. Zaobserwowaliśmy przestrzeń, która się zakrzywia, marszczy i rozszerza.

W tym miejscu twój mózg zaczyna wołać: „Cooooo…?”.

Jeśli czytasz uważnie, określenia takie jak: „zakrzywienie przestrzeni” i „rozszerzanie przestrzeni” powinny wprawić cię w pewne zakłopotanie. Co to mogłoby znaczyć? Jaki to ma sens? Skoro przestrzeń to swego rodzaju wyobrażenie, w takim razie nie można jej zakrzywić ani rozszerzyć, podobnie jak nie można jej posiekać w kostkę i usmażyć z kolendrą[2]. Jeśli przestrzeń jest dla nas linijką pozwalającą nam określać położenie obiektów, to jak zmierzyć zakrzywienie albo rozszerzenie przestrzeni?

Dobre pytania! Powodem tak silnego zakłopotania na myśl o zakrzywieniu przestrzeni jest to, że większość z nas wyrobiła sobie wyobrażenie przestrzeni jako niewidzialnego tła, na którym rozgrywają się wydarzenia. Być może wyobrażasz sobie przestrzeń inaczej – jak o tym już pisaliśmy: jako scenę w teatrze, z podłogą z twardych desek i sztywnymi ścianami po bokach. I może uważasz, że nic we wszechświecie nie byłoby

w stanie tej sceny zakrzywić, ponieważ ta abstrakcyjna rama nie jest częścią wszechświata, lecz czymś, co zawiera w sobie wszechświat.

Niestety w tym właśnie miejscu twoja wyobraźnia wprowadza cię w błąd. By zrozumieć ogólną teorię względności i myśleć o współczesnych wyobrażeniach przestrzeni, musisz porzucić ideę przestrzeni jako abstrakcyjnej sceny i przyjąć, że jest to rzecz materialna. Musisz sobie wyobrazić, że przestrzeń ma właściwości oraz zachowania i że reaguje na materię we wszechświecie. Możesz przestrzeń uszczypnąć, ścisnąć, a nawet – tak, tak – nafaszerować kolendrą[3].

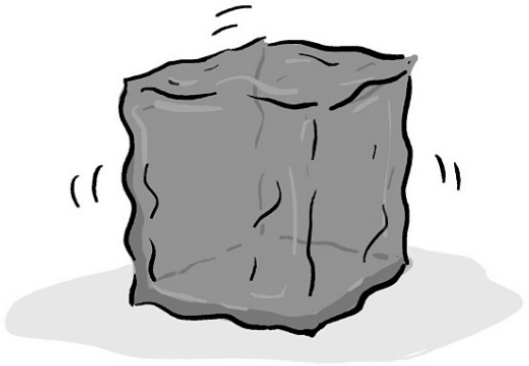
Być może w tym momencie w twoim wyczulonym na nonsens mózgu uruchamia się alarm: „co to za #@#$?!?!”. Może nawet cisnąłeś tą książką w ścianę i zacząłeś z nas szydzić. To całkowicie zrozumiałe. Kiedy już ją z powrotem podniesiesz, uzbrój się w cierpliwość, ponieważ to, co naprawdę szalone, jeszcze przed tobą. Zanim dojdziemy wreszcie do końca, twój włączający się na bezsens alarm zdąży się wyczerpać. Musimy jednak rozpakowywać te pojęcia starannie, by zrozumieć obecne w nich idee oraz zdać sobie sprawę, jakie naprawdę dziwne, choć tak podstawowe tajemnice dotyczące przestrzeni nadal pozostają bez odpowiedzi.

Kosmiczna breja, w której pływasz

Jak przestrzeń może być czymś materialnym, co się marszczy i wygina, i co to znaczy?

Znaczy to tyle: przestrzeń nie przypomina pustego pokoju (takiego naprawdę dużego), lecz jest raczej podobna do ogromnej masy gęstej brei. Normalnie przedmioty mogą poruszać się w tej brei bez najmniejszych problemów, tak jak my możemy poruszać się po pokoju wypełnionym powietrzem, nie zauważając cząsteczek gazu. Jednak w pewnych

okolicznościach breja ta może się wyginać, zmieniając sposób, w jaki poruszają się w niej przedmioty. Może też się spłaszczać i falować, wpływając na kształt tkwiących w niej rzeczy.



Ta breja (będziemy ją nazywać „kosmiczną breją”) nie jest doskonałą analogią natury przestrzeni, ale ta analogia pomoże ci wyobrazić sobie, że przestrzeń, w której właśnie w tym momencie się znajdujesz, niekoniecznie jest czymś ustalonym i abstrakcyjnym[4]. Przebywasz natomiast w jakiejś konkretnej rzeczy, a ta rzecz może się rozciągać albo podrygiwać, albo zniekształcać w taki sposób, że możesz tego nie zauważać.

Może właśnie przeszła przez ciebie zmarszczka w przestrzeni. Albo może w tej chwili zostaliśmy rozciągnięci w dziwnym kierunku i nawet o tym nie wiemy. W rzeczywistości jeszcze do niedawna w ogóle nie zauważaliśmy, że nasza breja robi cokolwiek poza nieruchomym byciem, i dlatego myliliśmy ją z nicością.

Co zatem potrafi ta kosmiczna breja? Okazuje się, że może robić mnóstwo dziwacznych rzeczy.

Przede wszystkim przestrzeń potrafi się rozszerzać. Pomyślmy z uwagą przez chwilę, co to znaczy, że przestrzeń się rozszerza. Znaczy to, że rzeczy się od siebie oddalają, w rzeczywistości nie poruszając się wcale wewnątrz

brei. Korzystając z naszej analogii, wyobraź sobie, że siedzisz w brei i nagle ona zaczyna puchnąć i się rozszerzać. Gdyby ktoś siedział naprzeciwko ciebie, oddaliłby się, mimo że ty nie poruszyłbyś się względem brei.

Skąd możemy wiedzieć, że breja się rozszerza? Czy linijka, której chcielibyśmy użyć do zmierzenia brei, także by się rozszerzyła? Właśnie tak: rozszerzyłaby się przestrzeń między wszystkimi atomami w linijce, dążąc do ich rozsunięcia. A gdyby nasza linijka była wykonana z supermiękkiej ciągutki, to też by się rozszerzyła. Gdybyś jednak używał sztywnej linijki, wszystkie jej atomy mocno trzymałyby się blisko siebie (dzięki oddziaływaniom elektromagnetycznym) i linijka zachowałaby tę samą długość, co pozwoliłoby ci zauważyć ową dodatkową przestrzeń.

ROZSZERZANIE SIĘ PRZESTRZENI

A wiemy, że przestrzeń potrafi się rozszerzać, ponieważ widzieliśmy, jak się rozszerza – w ten sposób odkryto ciemną energię. Wiemy, że w początkach wszechświata przestrzeń rozszerzała się i rozciągała w szokującym tempie i że podobne jej rozszerzanie dokonuje się do dziś. Przekonamy się o tym w rozdziale 14 o Wielkim Wybuchu (który rozsadził pierwotny wszechświat) oraz wiemy to już z rozdziału 3 o ciemnej energii, która obecnie działa w takim kierunku, że rozpycha wszystko, co istnieje we wszechświecie.

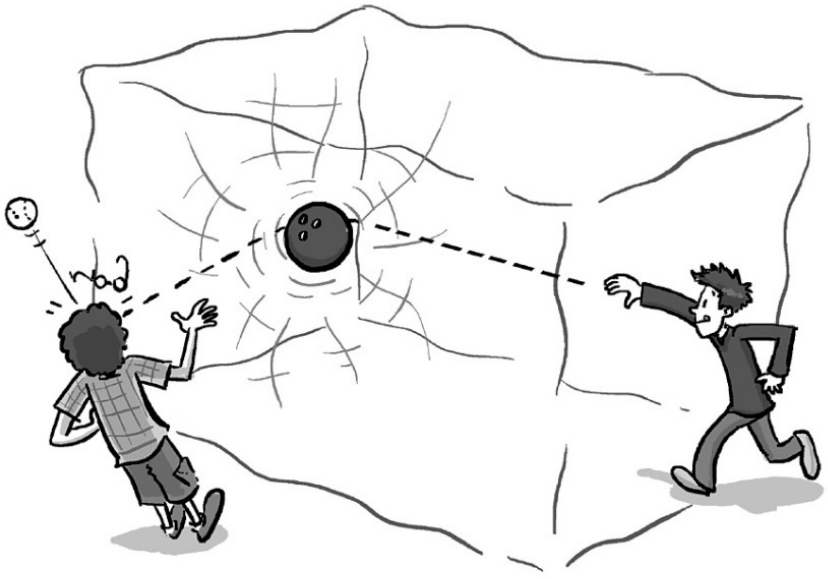
Wiemy również, że przestrzeń potrafi się wyginać. Naszą breję można zgniatać i deformować jak ciągutkę. Wiemy to, ponieważ w stworzonej

przez Einsteina ogólnej teorii względności tym właśnie jest grawitacja: zakrzywieniem przestrzeni. Wszystko, co posiada masę, sprawia, że przestrzeń wokół tego czegoś się zniekształca (czyli zmienia kształt).

Kiedy przestrzeń zmienia kształt, przedmioty nie poruszają się w niej tak, jak być może wcześniej sobie wyobrażałeś. Zamiast poruszać się po linii prostej, piłka baseballowa przechodząca przez masę wygiętej brei zgodnie z tym wygięciem zakrzywi swój tor. Jeśli breja jest silnie zniekształcona przez coś ciężkiego, na przykład przez kulę do kręgli, piłka

baseballowa może nawet zrobić wokół niej pętlę – w ten sam sposób Księżyc krąży po orbicie wokół Ziemi, a Ziemia – po orbicie wokół Słońca.

I jest to coś, co możemy naprawdę zobaczyć gołym okiem! Na przykład światło zakrzywia swój tor, kiedy przechodzi w pobliżu obiektów o dużej masie, takich jak nasze Słońce albo gigantyczne masy ciemnej materii. Gdyby grawitacja była tylko oddziaływaniem między obiektami obdarzonymi masą – a nie zakrzywieniem przestrzeni – wówczas nie powinna być w stanie przyciągać pozbawionych masy fotonów. Jedynym sposobem wyjaśnienia, jak to możliwe, by promień światła ulegał zakrzywieniu, jest to, że zakrzywia się sama przestrzeń.



TRICK SHOT EINSTEINA

Wreszcie, wiemy, że przestrzeń potrafi się marszczyć. Niczego tu nie naciągamy: przecież to sama przestrzeń potrafi się naciągać i wyginać. Ciekawe jest jednak to, że to naciąganie i wyginanie może się rozchodzić przez naszą kosmiczną breję; nazywa się to falą grawitacyjną. Jeśli wywołasz nagłe zniekształcenie przestrzeni, to zacznie się ono rozchodzić

promieniście od centrum, podobnie jak fala dźwiękowa albo zmarszczki na powierzchni cieczy. Tego rodzaju zachowanie mogłoby mieć miejsce tylko wtedy, gdyby przestrzeń cechowała się pewną fizyczną naturą, a nie była tylko abstrakcyjnym pojęciem albo czystą pustką.

Wiemy, że to marszczenie się przestrzeni jest rzeczywiste, ponieważ: (a) takie zmarszczki przewiduje ogólna teoria względności, oraz (b) faktycznie je wykryliśmy. Gdzieś we wszechświecie dwie czarne dziury o olbrzymiej masie splotły się w szalonym wirze i wirując tak jedna wokół drugiej, wywołały ogromne zniekształcenia w przestrzeni, które rozeszły się od nich w kosmos, a my przy użyciu bardzo czułych urządzeń wykryliśmy je tu, na Ziemi.

Możesz wyobrazić sobie te zmarszczki jako fale rozciągającej się i kurczącej przestrzeni. W rzeczywistości kiedy przez jakiś punkt przechodzi zmarszczka przestrzeni, przestrzeń kurczy się w jednym kierunku, a rozszerza w innym.

To brzmi jak jakieś brej-dnie. Ale czy na pewno?

To, że przestrzeń jest rzeczą, a nie po prostu czystą pustką, może się wydawać szalone, ale przekonuje nas o tym nasze doświadczanie

wszechświata. Nasze obserwacje doświadczalne nie pozostawiają wątpliwości, że odległości między obiektami w przestrzeni nie mierzy się na jakimś niewidzialnym abstrakcyjnym tle, lecz zależy ona od właściwości kosmicznej brei, w której wszyscy żyjemy, jemy ciastka i siekamy kolendrę.

Wprawdzie ujęcie przestrzeni jako czegoś dynamicznego, obdarzonego właściwościami fizycznymi może wyjaśniać dziwaczne zjawiska w rodzaju zakrzywiania i rozciągania przestrzeni, prowadzi jednak tylko do dalszych pytań.

Na przykład może ci przyjść do głowy, że to, co dotychczas określaliśmy mianem przestrzeni, powinniśmy teraz nazywać fizyczną breją („fizbreją”), ale też że ta breja musi być w czymś, co moglibyśmy teraz znowu nazywać przestrzenią. Byłoby to sprytne posunięcie, ale z tego, co wiemy (aczkolwiek póki co nie wiemy zbyt wiele), breja nie musi znajdować się w niczym innym. Gdy się zakrzywia i wygina, wówczas związki między częściami przestrzeni zmienia jej własne wewnętrzne zakrzywienie, a nie zakrzywienie brei w stosunku do jakiegoś większego miejsca, które ona wypełnia.

Ale z samego tego, że nasza kosmiczna breja nie musi znajdować się wewnątrz czegoś innego, nie wynika jeszcze, że faktycznie wewnątrz czegoś innego nie tkwi. Być może to, co nazywamy przestrzenią, w rzeczywistości znajduje się wewnątrz jakiejś większej „superprzestrzeni”[5]. I być może dopiero ta superprzestrzeń przypomina nieskończoną pustkę, ale… nie mamy na ten temat pojęcia.

Czy to możliwe, żeby istniały części wszechświata bez przestrzeni? Innymi słowy, skoro przestrzeń jest pewną breją, czy to możliwe, by gdzieś istniała niebreja albo brak brei? Znaczenie tych pojęć jest niezbyt jasne, ponieważ wszystkie nasze prawa fizyki zakładają istnienie przestrzeni –

wobec tego jakie prawa mogłyby obowiązywać poza przestrzenią? Nie mamy pojęcia.

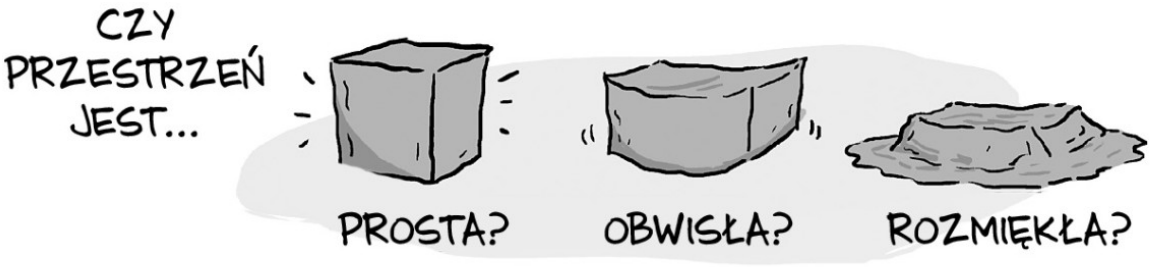
Trzeba pamiętać, że to nowe rozumienie przestrzeni jako rzeczy pojawiło się niedawno. Znajdujemy się na samym początku pojmowania, czym jest przestrzeń. Pod wieloma względami wciąż kuśtykamy, wspierając się intuicyjnymi pojęciami. Dobrze nam one służyły, kiedy ludzie polowali na zwierzynę i poszukiwali prehistorycznej kolendry, ale musimy wyzwolić się z okowów tych pojęć i uświadomić sobie, że przestrzeń bardzo się różni od tego, co sobie wyobrażaliśmy.

Proste myślenie o zakrzywionej przestrzeni

Jeśli od tych wszystkich brejowatych, zaginających przestrzeń pomysłów nie boli cię jeszcze mózg, mamy dla ciebie kolejną tajemnicę na temat przestrzeni: czy przestrzeń jest płaska czy powykręcana (a jeśli powykręcana, to w jaki sposób)?

To zwariowane pytania, ale nie aż tak trudno je stawiać, kiedy się już przyjęło, że przestrzeń jest plastyczna. Skoro przestrzeń może się zakrzywiać wokół obiektów obdarzonych masą, to czy może ją cechować powszechne zakrzywienie? To tak, jakbyśmy pytali, czy nasza breja jest płaska: wiesz, że potrafi się trząść i deformować, jeśli się ją naciśnie, ale czy w całości nie jest przypadkiem obwisła? A może trzyma się idealnie prosto? Takie pytania możesz zadawać także o przestrzeń.

Znalezienie odpowiedzi wywarłoby olbrzymi wpływ na nasze pojmowanie wszechświata. Jeśli na przykład przestrzeń okazałaby się płaska, to gdybyś przemieszczał się ciągle w jednym kierunku, mógłbyś się tak poruszać bezustannie, nawet w nieskończoność.



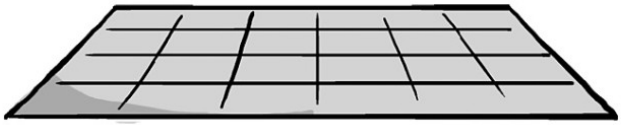
Skoro jednak przestrzeń jest zakrzywiona, wówczas mogą się zdarzyć inne ciekawe rzeczy. Jeśli całą przestrzeń cechuje ogólna krzywizna dodatnia, to gdybyś wyruszył w jednym kierunku, w rzeczywistości mogłoby się okazać, że zatoczyłeś pętlę i wróciłeś do tego samego miejsca z przeciwnej strony! To przydatna informacja, jeśli na przykład czujesz się nieswojo, kiedy ktoś podkrada się do ciebie od tyłu.

NAJDŁUŻSZY PRANK WE WSZECHŚWIECIE

Wyjaśnienie pomysłu z zakrzywioną przestrzenią jest bardzo trudne, ponieważ nasz mózg najzwyczajniej w świecie nie jest zbyt dobrze przygotowany do wizualizowania sobie tego typu pojęć. Dlaczego miałoby być inaczej? Większość naszego codziennego doświadczenia (na przykład unikanie drapieżników albo szukanie kluczy) wiąże się z kontaktem

z trójwymiarowym światem, który wydaje się całkiem ustalony (aczkolwiek mamy nadzieję, że gdyby kiedyś zaatakowali nas kosmici dysponujący zaawansowaną techniką pozwalającą im sterować zakrzywieniem przestrzeni, my też szybko byśmy to rozkminili).

Co by to znaczyło, gdyby przestrzeń była zakrzywiona? Jednym ze sposobów zwizualizowania sobie tego jest udawanie przez krótką chwilę, że żyjemy w dwuwymiarowym świecie – jakby ktoś nas uwięził na kartce papieru. Znaczy to, że potrafimy się poruszać tylko w dwóch kierunkach. Otóż jeśli kartka, na której żyjemy, jest idealnie wyprostowana, mówimy, że nasza przestrzeń jest płaska.

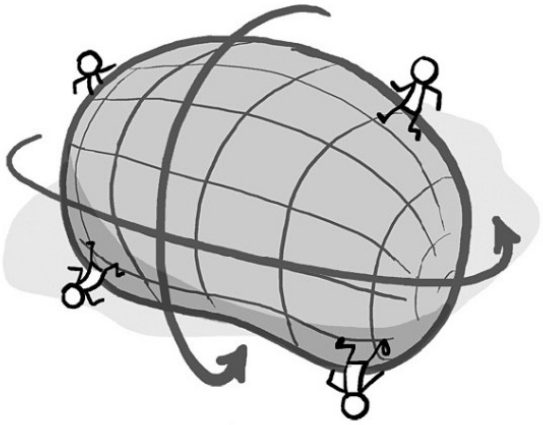


Ale jeśli z jakiegoś powodu ta kartka papieru jest jakoś wygięta, to mówimy, że przestrzeń jest zakrzywiona.

Papier można wygiąć na dwa sposoby. Może być cały wygięty w jednym kierunku (nazywamy to „krzywizną dodatnią”) albo powyginany w różne strony jak siodło lub chipsy Pringles (nazywamy to „krzywizną ujemną” albo „nieprzestrzeganiem diety”).

A teraz to, co fajne: jeśli ustalimy, że przestrzeń jest wszędzie płaska, będzie to znaczyło, że kartka papieru (przestrzeń) mogłaby w zasadzie ciągnąć się w nieskończoność. Ale jeśli ustalimy, że ta przestrzeń wszędzie ma krzywiznę dodatnią, to istnieje tylko jeden kształt, który ma wszędzie krzywiznę dodatnią: sfera. Albo, mówiąc bardziej formalnie, sferoida (tzn. ziemniak). To jedyny sposób, w jaki nasz wszechświat mógłby zakręcać wokół siebie. Wszyscy moglibyśmy żyć w trójwymiarowym odpowiedniku ziemniaka, co oznacza, że bez względu na to, w którą stronę byś poszedł, i tak zrobisz pętlę, po której wrócisz w to samo miejsce.

Więc jak to jest? Czy nasza przestrzeń jest płaska, czy cechuje ją całościowe zakrzywienie? No cóż, w tym wypadku okazuje się, że znamy odpowiedź: przestrzeń wydaje się „dość płaska”, ponieważ występujące w niej maksymalne odchylenie od płaskości wynosi 0,4 procenta. Za pośrednictwem dwóch bardzo odmiennych metod naukowcy obliczyli, że krzywizna przestrzeni (przynajmniej tej, którą widzimy) jest bardzo bliska zeru.



HIPOTETYCZNY ŚWIAT ZIEMNIACZANY

Jakie to dwie metody? Jedna z nich polega na mierzeniu trójkątów. Ciekawą sprawą związaną z krzywizną jest to, że trójkąty w zakrzywionej

przestrzeni nie stosują się do tych samych zasad, które opisują je w przestrzeni płaskiej. Przypomnij sobie naszą analogię z kartką. Trójkąt narysowany na płaskiej kartce papieru będzie wyglądał inaczej niż trójkąt narysowany na powierzchni zakrzywionej.

Naukowcy dokonali czegoś w rodzaju zmierzenia trójkątów narysowanych w naszym trójwymiarowym wszechświecie, przyglądając się zdjęciu z wczesnego okresu istnienia wszechświata (pamiętasz kosmiczne mikrofalowe promieniowanie tła z rozdziału 3?) i analizując zależności przestrzenne między różnymi punktami na tym zdjęciu. W ten sposób ustalili, że mierzone na nim trójkąty odpowiadają trójkątom z płaskiej przestrzeni.

Druga metoda, dzięki której wiemy, że przestrzeń jest zasadniczo płaska, polega na analizie tego, co przede wszystkim powoduje zakrzywienie przestrzeni: energii we wszechświecie. Zgodnie z ogólną teorią względności istnieje określona ilość energii we wszechświecie (tak naprawdę gęstość energii), która powoduje, że przestrzeń wykrzywia się w jedną lub drugą stronę. Okazuje się, że wartość gęstości energii, którą możemy zmierzyć w naszym wszechświecie, jest dokładnie tą jej wielkością, która jest potrzebna, by przestrzeń, którą widzimy, w ogóle się nie wyginała (z marginesem błędu 0,4 procent).

Wiadomość, że nie żyjemy w odjazdowym trójwymiarowym kosmicznym ziemniaku, który zawsze sprowadzi nas w to samo miejsce, jeśli będziemy iść ciągle w jednym kierunku, dla części z was może być rozczarowaniem. No jasne: kto nie marzył o wykonaniu na motorze z napędem rakietowym kaskaderskiej spirali po całym wszechświecie? Jednak zamiast odczuwać zawód z życia w nudnej płaskiej przestrzeni, pomyślcie, czy nie jest to choć trochę intrygujące. Dlaczego? Ponieważ z tego, co wiemy, fakt, że żyjemy w płaskim wszechświecie, jest gigantycznym, kosmicznym zbiegiem okoliczności.

Tylko pomyśl. O krzywiźnie przestrzeni decydują cała masa i energia we wszechświecie (pamiętaj, że masa i energia zniekształcają przestrzeń), więc gdyby było w nim odrobinę więcej masy i energii, niż jest teraz, przestrzeń byłaby w którąś stronę zakrzywiona. A gdyby masy i energii we wszechświecie było odrobinę mniej, niż jest teraz, przestrzeń byłaby zakrzywiona w inną stronę. Tymczasem najwyraźniej masy i energii jest dokładnie tyle, ile trzeba, by przestrzeń była idealnie płaska, na ile jesteśmy w stanie to stwierdzić. W rzeczywistości ta dokładna wartość gęstości

energii i masy wynosi jakieś pięć atomów wodoru na metr sześcienny przestrzeni. Gdyby ta gęstość wynosiła na przykład sześć atomów wodoru na metr sześcienny przestrzeni, wówczas cały wszechświat byłby zupełnie inny (miałby więcej krągłości i byłby seksowniejszy, ale inny).

I robi się jeszcze dziwniej. Skoro krzywizna przestrzeni wpływa na ruch materii, a materia wpływa na krzywiznę przestrzeni, to występuje tu sprzężenie zwrotne. Znaczy to, że gdyby w początkowym okresie istnienia wszechświata materii było choćby odrobinę za dużo albo za mało, tak że nie osiągnąłby on tej krytycznej gęstości, która zapewnia płaską przestrzeń, to taka sytuacja spowodowałaby jeszcze silniejsze jej wykrzywienie. To, że przestrzeń jest teraz dość płaska, oznacza, że w początkowym okresie istnienia wszechświata musiała być w najwyższym stopniu płaska, albo że musi być coś innego, co zapewnia jej płaskość.

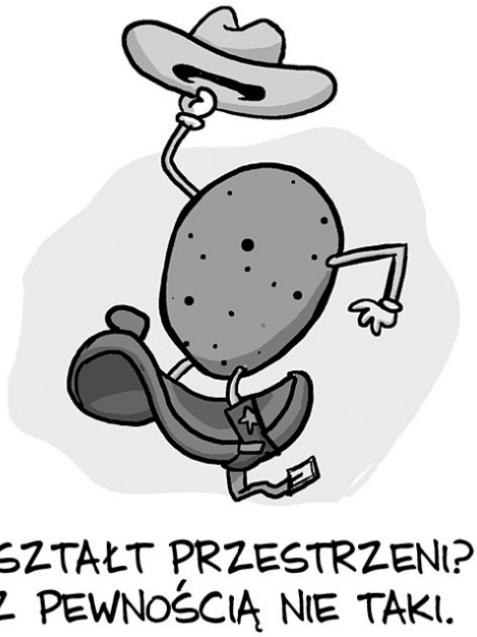
Jest to jedna z największych tajemnic dotyczących przestrzeni. Nie tylko nie wiemy, czym dokładnie jest przestrzeń, ale także nie mamy pojęcia, dlaczego jest akurat taka, jaka jest. Nasza wiedza w tej materii wydaje się płaska (znaczy się: płytka).

Kształt przestrzeni

Skoro mowa o naturze przestrzeni, to krzywizna wcale nie jest jej jedyną własnością, o którą, dręcząc samych siebie, pytamy. Jeśli przyjmiemy, że przestrzeń nie jest nieskończoną pustką, lecz raczej (być może nieskończonym) materialnym i obdarzonym pewnymi właściwościami czymś, rodzą się najrozmaitsze dziwne pytania. Na przykład: jaki rozmiar i kształt ma przestrzeń?

Poznając rozmiar i kształt przestrzeni, dowiemy się, ile przestrzeni jest i jak łączy się ona ze sobą. Być może uważasz, że skoro przestrzeń jest

płaska i nie przypomina kształtem ziemniaka ani siodła (ani ziemniaka w siodle), to samo wyobrażenie rozmiaru i kształtu przestrzeni nie ma sensu. W końcu jeśli przestrzeń jest płaska, znaczy to, że musi ciągnąć się prosto w nieskończoność, prawda? Niekoniecznie!



Przestrzeń może być płaska i nieskończona. Albo mogłaby być płaska i mieć jakiś brzeg. Albo, co jeszcze dziwniejsze, mogłaby być płaska, a mimo to zawijać się wokół siebie.

Jak to możliwe, by przestrzeń miała jakiś brzeg? Tak naprawdę nie ma żadnego powodu, dla którego przestrzeń nie mogłaby mieć granic, mimo że jest płaska. Na przykład dysk jest płaską dwuwymiarową powierzchnią o gładkim, ciągłym brzegu. Być może trójwymiarowa przestrzeń również ma w pewnym punkcie granicę dzięki jakiejś dziwnej geometrycznej własności na krawędziach.

Jeszcze bardziej intrygująca jest możliwość, że przestrzeń może być płaska, a mimo to zawijać się wokół siebie. Przypominałoby to granie w jedną z tych starych gier komputerowych (na przykład w Asteroids albo Pac-Mana), w których po przejściu za krawędź ekranu pojawiasz się po prostu z drugiej strony. Przestrzeń mogłaby być w stanie łączyć się ze sobą w jakiś sposób, którego póki co jesteśmy całkowicie nieświadomi. Na przykład teoretycznymi przewidywaniami wynikającymi z ogólnej teorii względności są tunele czasoprzestrzenne. W tunelu czasoprzestrzennym dwa różne i oddalone od siebie w przestrzeni punkty mogą zostać ze sobą

połączone. A co będzie, jeśli w podobny sposób są połączone ze sobą wszystkie brzegi przestrzeni? Nie mamy pojęcia.

Przestrzeń kwantowa

Można wreszcie postawić pytanie, czy w rzeczywistości przestrzeń składa się z maleńkich nieciągłych kawałków, podobnych do pikseli na ekranie monitora, czy raczej jest nieskończenie gładka, wobec czego istnieje nieskończona liczba miejsc, w których można się znaleźć między dwoma punktami w przestrzeni?

W dawnych czasach naukowcy mogli sobie nie wyobrażać, że powietrze składa się z maleńkich nieciągłych cząsteczek. W końcu powietrze wydaje się czymś ciągłym. Dąży do tego, by wypełnić każdą pustą objętość, i ma ciekawe dynamiczne właściwości (pokazują je na przykład wiatr i pogoda). Tymczasem wiemy, że wszystkie te wspaniałe cechy powietrza (latem uwielbiamy, jak chłodny wietrzyk łagodnie owiewa nam twarz, nie mówiąc już o tym, że to właśnie powietrze zapobiega naszemu uduszeniu się) stanowią w rzeczywistości połączone działanie miliardów pojedynczych cząsteczek powietrza, nie są natomiast przejawem ich fundamentalnych właściwości.

Wariant z gładką przestrzenią mógłby się nam wydawać sensowniejszy. W końcu nasze doświadczenie poruszania się w przestrzeni polega na przesuwaniu się w niej w łatwy, ciągły sposób. Nie skaczemy nerwowo z piksela na piksel, jak wędrująca po ekranie postać z gry komputerowej.

A może jednak?

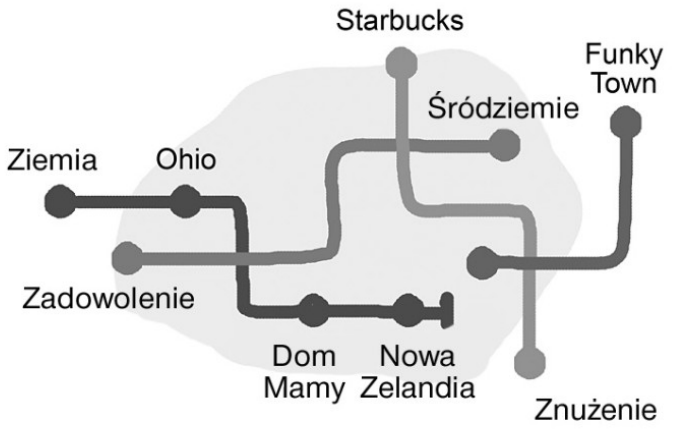
Mając na uwadze nasze obecne rozumienie wszechświata, tak naprawdę byłoby czymś bardziej zaskakującym, gdyby się okazało, że przestrzeń jest nieskończenie gładka. A to dlatego, że jak wiemy, wszystko inne ma charakter kwantowy. Materia jest skwantowana, energia jest skwantowana, oddziaływania są skwantowane, delicje są skwantowane. Poza tym fizyka kwantowa wskazuje na to, że być może istnieje najmniejsza odległość, która jeszcze ma sens, i wynosi ona jakieś 10^{-35} metra[6]. Wobec tego z perspektywy mechaniki kwantowej rozsądne by było, gdyby przestrzeń była skwantowana. Ale jak jest naprawdę – również w tym wypadku naprawdę nie mamy pojęcia.

„Niemanie” pojęcia nie powstrzymuje jednak fizyków przed wyobrażaniem sobie różnych szalonych możliwości! Jeśli przestrzeń faktycznie jest skwantowana, oznacza to, że kiedy poruszamy się w niej, tak naprawdę przeskakujemy z jednych maleńkich położonek do innych maleńkich położonek. Zgodnie z tym poglądem przestrzeń jest siecią połączonych ze sobą węzłów, które są jak stacje na linii metra. Każdy węzeł reprezentuje jakieś położenie, a połączenia między węzłami reprezentują powiązania między tymi położeniami (tzn. które z nich jest obok którego). Różni się to od wyobrażenia, że przestrzeń jest po prostu powiązaniem

między cząstkami materii, ponieważ węzły przestrzeni skwantowanej mogą być puste, a mimo to istnieć.

Co ciekawe, te węzły nie musiałyby tkwić wewnątrz jakiejś większej przestrzeni czy struktury. Mogłyby po prostu… być. W tym wariancie to, co nazywamy przestrzenią, byłoby powiązaniami między węzłami, a wszystkie cząstki we wszechświecie byłyby po prostu raczej właściwościami tej przestrzeni niż jej elementami. Na przykład mogłyby być rodzajem drgań tych węzłów.

Nie jest to wcale tak naciągane, jak mogłoby się wydawać. Funkcjonująca obecnie teoria cząstek opiera się na założeniu pól kwantowych wypełniających całą przestrzeń. Pole oznacza po prostu tyle, że z każdym punktem w tej przestrzeni jest związana jakaś liczba czy też wartość. Zgodnie z tym poglądem cząstki są po prostu wzbudzonym stanem tego pola. A zatem nie jesteśmy już zbyt daleko od tego rodzaju teorii.



PLAN PRZESTRZENI WĘZŁOWEJ

Nawiasem mówiąc, fizycy uwielbiają tego typu pomysły, w których coś, co wydaje nam się zupełnie zasadnicze (na przykład przestrzeń), wynika przypadkowo z czegoś głębszego. Daje im to poczucie, że

zajrzeliśmy za zasłonę i możemy odkryć jakąś głębszą warstwę rzeczywistości. Niektórzy podejrzewają nawet, że powiązania między węzłami przestrzeni tworzy kwantowe splątanie cząstek, ale to matematyczne spekulacje garstki teoretyków, którzy przedawkowali kofeinę.

Tajemnice przestrzeni

Podsumujmy najważniejsze nierozwiązane dotąd tajemnice przestrzeni:

- Przestrzeń to coś – ale czym jest to coś?
- Czy przestrzeń, którą znamy, to wszystko, co istnieje, czy też tkwi ona w jakiejś większej metaprzestrzeni?
- Czy pewne części wszechświata nie mają przestrzeni?
- Dlaczego przestrzeń jest płaska?
- Czy przestrzeń jest skwantowana?
- Dlaczego Anna z księgowości nie szanuje przestrzeni osobistej innych ludzi?

Jeśli dobrnąłeś do tego miejsca i albo dogłębnie to rozumiesz, albo po prostu wyciszyłeś swój alarm ostrzegający przed bezsensem, to nie powinniśmy dłużej zwlekać – dlatego zajmiemy się najbardziej zwariowanym pojęciem na temat przestrzeni (zgadza się, poziom szaleństwa wzrasta).

Skoro przestrzeń jest czymś materialnym – a nie tłem czy ramą – i ma dynamiczne właściwości, na przykład skręca się i marszczy, a być może jest nawet zbudowana ze skwantowanych elementów przestrzeni, w takim razie powinniśmy się zastanowić: co jeszcze potrafi przestrzeń?

Być może podobnie jak powietrze ma różne stany i fazy. Może w ekstremalnych warunkach potrafi przyjmować zupełnie nieoczekiwaną postać albo wykazywać dziwaczne i zaskakujące właściwości – podobnie jak powietrze zachowuje się różnie w zależności od tego, czy występuje w postaci ciekłej, gazowej czy stałej. Być może przestrzeń, którą znamy, kochamy i zajmujemy (czasem zajmujemy jej więcej, niż byśmy chcieli), jest tylko jednym rzadkim typem przestrzeni, a we wszechświecie istnieją inne jej odmiany czekające tylko, aż dojdziemy do tego, jak je tworzyć i się nimi posługiwać.

Najbardziej intrygującym narzędziem, jakim dysponujemy, by odpowiedzieć na to pytanie, jest fakt, że przestrzeń ulega zniekształceniu przez masę i energię. Aby zrozumieć, czym jest i co potrafi przestrzeń, najlepiej byłoby sprawdzić, jak się zachowuje w skrajnych warunkach. Można tego dokonać, uważnie przyglądając się miejscom, w których ściskają ją i naprężają kosmicznie wielkie masy: czarnym dziurom. Gdyby udało nam się zbadać pobliskie czarne dziury, być może zobaczylibyśmy przestrzeń tak poszatkowaną i posiekaną, że ostrzegający nas przed bezsensem alarm po prostu by eksplodował.

A ekscytujące w tym wszystkim jest to, że jeszcze nigdy nie byliśmy tak blisko chwili, w której będziemy w stanie badać te skrajne zniekształcenia przestrzeni. Wcześniej byliśmy głusi na przechodzące przez wszechświat zmarszczki fal grawitacyjnych, a teraz posiedliśmy zdolność wsłuchiwania się w kosmiczne wydarzenia, które wstrząsają breją przestrzeni, zakłócając ją. Być może w niedalekiej przyszłości zrozumiemy więcej na temat dokładnej natury przestrzeni i dotrzemy do tych poważnych pytań, które dosłownie nas otaczają.

Więc zostaw sobie w mózgu trochę przestrzeni na odpowiedzi.

---

[1] Zajęłoby ci to dużo czasu. Lepiej kup drugi egzemplarz tej książki i weź ze sobą na drogę.

[2] Wyjątkiem jest Kalifornia. Tam wszystko potrafią zrobić z kolendrą.

[3] Wypatruj zapowiedzi naszej kolejnej książki *Gotuj z fizykami*.

[4] Breja nie jest doskonałą analogią, ponieważ sama jest rzeczą istniejącą w przestrzeni, podczas gdy przestrzeń ma podobne do brei właściwości, ale nie wiemy, czy istnieje w czymś innym.

[5] Podejrzane jest to, że nigdy nie widziano w tym samym miejscu superprzestrzeni oraz tego zwykłego, dobrze wychowanego dziennikarza – czyli przestrzeni.

[6] Ta długość nie jest jakąś zmyśloną liczbą, chociaż trudno ją sobie wyobrazić. Jest to długość Plancka, nasze najlepsze obecnie oszacowanie najmniejszej sensownej jednostki odległości. Jej dokładniejsze omówienie znajdziesz w rozdziale 16.

8

Co to jest czas?

Już za chwilę dowiemy się, że czas ma decydujące (ale nie wiemy jakie) znaczenie

Przekonaliśmy się już, że podstawowe pojęcia, takie jak przestrzeń, masa czy materia, okazują się bardziej tajemnicze, niż mogłeś się spodziewać. Jakie jeszcze podstawowe elementy świata mogą skrywać przed naszym wzrokiem swój dziwny charakter? To tylko kwestia czasu, kiedy nadejdzie czas, by zadać to ponadczasowe pytanie:

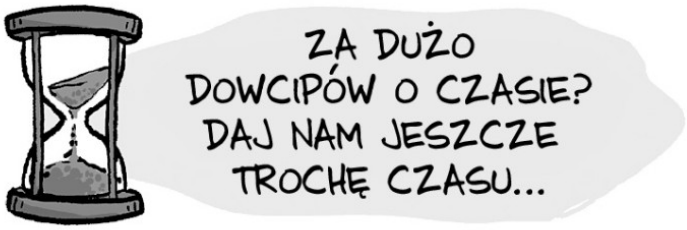
Co to jest czas?

Gdybyś był kosmitą, który przybył na Ziemię i stara się nauczyć naszego języka, podsłuchując rozmowy w kawiarniach i sklepach, przypuszczalnie zajęłoby ci dużo czasu, zanim usłyszałbyś odpowiedź na to pytanie. Ludzie spędzają mnóstwo czasu na gadaniu na temat czasu, ale nie poświęcają go prawie wcale na to, by porozmawiać o tym, czym czas naprawdę jest!

Cały czas sprawdzamy, jak czas upływa. Mówimy, że czas może być cudowny, gorący, właściwy albo nie najlepszy. Mamy czas przeszły, teraźniejszy i przyszły. Co jakiś czas (wiosną) zmieniamy czas na letni, a po pewnym czasie (jesienią) na zimowy. Pamiętamy o dobrych i złych czasach. Nie tracimy czasu – albo właśnie go tracimy. Spędzamy czas świadomie albo go zabijamy, czasami też czas przecieka nam między palcami (wtedy nam go szkoda, bo czas to pieniądz!). Czasem wlecze się nieznośnie, od czasu do czasu nagli. Czasami mówimy „czasem”, a czasem – „czasami”. Mamy czas wolny (rzadko), ale przez większość czasu zwyczajnie brakuje nam czasu. Takie czasy.

Ale czym on jest? Czy to coś materialnego (na przykład materia albo przestrzeń), czy zupełnie abstrakcyjne pojęcie, zewnętrzna warstwa naszego doświadczania wszechświata?

Jeśli miałeś nadzieję, że fizycy znają odpowiedź na to poważne i nieco dezorientujące pytanie o czas, to czas na taką odpowiedź jeszcze nie nadszedł. Czas pozostaje tymczasem jedną z wielkich tajemnic fizyki, tajemnicą, która każe nam pytać o samą definicję tego, czym jest fizyka. Nie żałujmy więc czasu ani nie traćmy go dłużej i uważnie zbadajmy to zagadnienie, nawet jeśli ryzykujemy przy tym, że nie wykażmy się wyczuciem czasu.



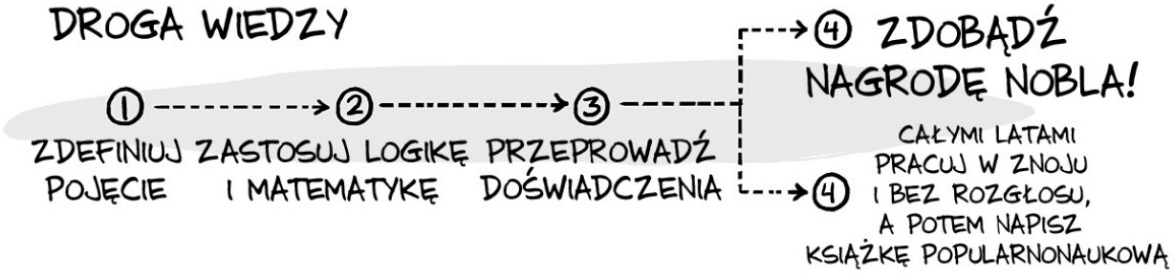
Definicja czasu

Ze wszystkich pytań, które możesz zadać na temat wszechświata, najzabawniejsze są te, które wydają się proste, ale tak naprawdę bardzo trudno na nie odpowiedzieć. To tego typu pytania, przy których drapiesz się w głowę i zdajesz sobie sprawę, że nie mamy klarownych wyjaśnień pewnych zupełnie podstawowych i na pozór oczywistych rzeczy.

Tego rodzaju pytania wskazują na możliwość, że być może patrzymy na coś całkiem niewłaściwie, tak jak to było z różnymi sprawami w przeszłości (gdy mówiliśmy np.: „Ziemia jest płaska”, albo: „Słuchaj, przystawię ci trochę pijawek, to cię wyleczą z tej choroby!”), oraz że

uzyskanie wiążącej, konkretnej odpowiedzi mogłoby zmienić sposób, w jaki myślimy o wszechświecie i naszym miejscu w nim. Stawka jest bardzo wysoka!

Najpierw powinniśmy się postarać zdefiniować, czym jest czas. W końcu tak właśnie fizyka podchodzi do trudnych pytań. Zaczynamy od opracowania starannej definicji tego, co staramy się zrozumieć, po czym dodajemy do niej matematyczny opis pozwalający zastosować siłę logiki i doświadczenia, które poprowadzą nas przez resztę drogi.



A więc co to jest czas? Gdybyś zagadnął dziś na ulicy przypadkowych przechodniów i poprosił ich o podanie definicji czasu, mógłbyś uzyskać takie na przykład odpowiedzi:

„Czas to różnica między wtedy a teraz”.
„Czas mówi nam, kiedy coś się dzieje”.
„Czas to coś, co jest mierzone zegarek”.
„Czas to pieniądz, więc daj mi spokój!”.

Te definicje czasu są całkiem przekonujące, ale każda z nich rodzi jeszcze więcej pytań. Na przykład możesz zapytać: „Dlaczego w ogóle jest jakieś »wtedy« i »teraz«?”, albo: „Co znaczy »kiedy«?”, albo: „A czy zegarki również nie podlegają czasowi?”, albo: „Kto ma na to wszystko czas?”.

Wydaje się, że trudno będzie pójść dalej, jeśli nie potrafimy nawet opisać czasu, ale nie ma powodów do niepokoju. Chociaż pytanie: „Co to jest czas?”, brzmi, jakby zadawał je pięciolatek, nie pierwszy raz mamy kłopot ze zdefiniowaniem albo dokładnym opisem czegoś, co bardzo dobrze znamy[1]. To samo zdarza się także w innych dziedzinach: biologowie przez całe dziesięciolecia spierali się o definicję życia (obrońcy praw zombie to naprawdę silna grupa lobbystów), neurobiologowie sprzeczają się o definicję „świadomości”, a godzillologowie[2] nie mogą się porozumieć co do definicji „potwora”.

Trudność ze zdefiniowaniem czasu polega częściowo na tym, że jest on tak mocno zakorzeniony w naszym doświadczeniu i sposobie myślenia. Czas to sposób, w jaki odnosimy „teraz”, które mamy teraz, do „teraz”, które mieliśmy wcześniej. Wszystko, co czujemy teraz, nazywamy teraźniejszością, ale teraźniejszość jest przelotna i efemeryczna: nie da się nią delektować ani nie da się jej rozciągnąć, tak jak można to zrobić ze smacznym kęsem ciasta czekoladowego. Każda kolejna chwila wyślizguje się natychmiast z intensywnego doświadczenia teraźniejszości i wpada w gasnącą pamięć przeszłości.

NIEZNOŚNA LEKKOŚĆ TERAŹNIEJSZOŚCI

Ale czas wiąże się też z przyszłością. Zdolność do powiązania przyszłości z przeszłością i teraźniejszością jest bardzo ważna. Bez względu na to, czy jesteś jaskiniowcem, który ma nadzieję przetrwać najbliższą zimę, czy współczesną dziewczyną, która musi mieć gdzie naładować smartfon, myślenie o przyszłości oraz ekstrapolacja na podstawie przeszłości jest rzeczą absolutnie zasadniczą dla twojego przetrwania. Dlatego trudno sobie wyobrazić ludzkie doświadczenie bez pojęcia czasu.

W ten sam sposób fizyka traktuje czas. W rzeczywistości czas tkwi głęboko zakorzeniony w samej definicji fizyki! Według wiarygodnych źródeł (Wikipedia) fizyka to nic innego niż nauka „zajmująca się badaniem właściwości i przemian materii i energii oraz oddziaływań między nimi”. Już same słowa „przemiany” i „oddziaływania” zakładają pojęcie czasu. Podstawowym zadaniem fizyki jest wykorzystywanie przeszłości do zrozumienia, jakiego rodzaju przyszłość jest możliwa i jak możemy na nią wpływać. Fizyka nie ma sensu bez czasu.

Rzecz w tym, że każda definicja czasu stworzona przez człowieka będzie najprawdopodobniej zniekształcona z powodu charakteru naszego doświadczenia. Pomyśl: już samo myślenie o czasie wymaga czasu! Możliwe, że fizycy na planecie kosmitów rozumieją pojęcie czasu inaczej niż my, ponieważ ich doświadczenie i schematy myślowe różnią się od naszych w jakiś dogłębnie obcy sposób, którego nasze obecne subiektywne doświadczenie nie pozwala nam naprawdę uchwycić.

No to powiedzmy wreszcie: co to jest czas?

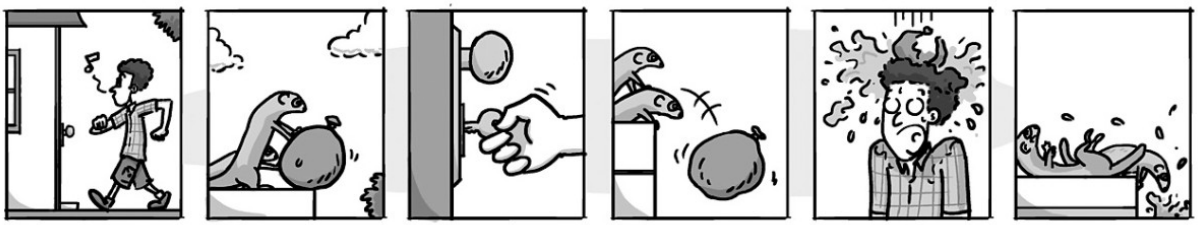
Porozmawiajmy o fretkach.

Aby lepiej uchwycić sposób myślenia naszych fizyków o czasie, rozważmy jakiś częsty scenariusz. Przypuśćmy na przykład, że masz w domu fretki i że planują one zrzucić ci na głowę balon z wodą, kiedy będziesz wracał z pracy. Aż za dobrze znasz tę sytuację, prawda?

A teraz zamiast traktować czas jak płynny strumień doświadczenia, potnij go na plastry i wyobraź sobie, że czas to jakby film składający się z kolejnych klatek: wiąże ze sobą wiele nieruchomych zdjęć.

Fizycy widzą w każdym z tych zdjęć opis stanu rzeczy w danym momencie. A więc masz serię migawek:

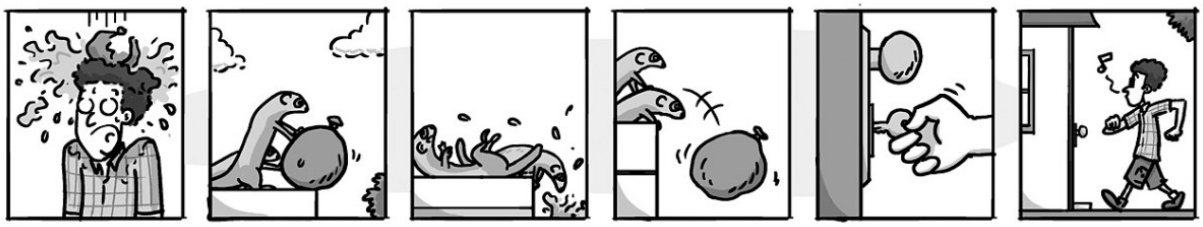
1. Beztrosko sobie pogwizdując, niczego nieświadomy podchodzisz do drzwi.
2. Fretki przesuwają balon z wodą w położenie bojowe.
3. Wkładasz klucz do drzwi.
4. Fretki spuszczają ładunek wybuchowy.
5. Zalewa cię woda (i krew).
6. Fretki pękają ze śmiechu.



Każde zdjęcie jest opisem sytuacji w danym miejscu: pokazuje, gdzie co się znajduje i kto co robi w danej chwili. Wszystko jest zatrzymane, statyczne, nie zmienia się. Gdybyśmy nie mieli pojęcia czasu, wszechświat byłby jednym z takich właśnie zatrzymanych w kadrze stanów rzeczy, niepodatnych na zmianę czy ruch.

Na szczęście nasz wszechświat jest o wiele ciekawszy. Te poszczególne migawki nie istnieją niezależnie od siebie. Czas wiąże je nawzajem ze sobą na dwa ważne sposoby.

Po pierwsze łączy kolejne zdjęcia w jeden łańcuch, układając je w określonym porządku. Gdyby na przykład ułożyć w innej kolejności poprzednie ujęcia, uznalibyśmy, że coś tu jest nie tak.



Po drugie czas wymaga, by te zdjęcia były ze sobą powiązane przyczynowo. Znaczy to tyle, że każda chwila we wszechświecie zależy od tego, co wydarzyło się tuż przed nią. To po prostu ciąg przyczynowo-skutkowy. Nie możesz na przykład w jednej chwili leżeć na sofie i zajadać się lodami, a zaraz potem być w połowie trasy maratonu.

Na tym właśnie polega zadanie praw fizyki: powiedzieć nam, w jaki sposób wszechświat może, a w jaki nie może się zmieniać. Na podstawie konkretnej migawki fizyka mówi nam, jakie są możliwe przyszłe zdjęcia i które z nich są prawdopodobne, a co wydarzyć się nie może. Podstawą tych uwarunkowań jest czas. Gdyby nie było czasu, nasz wszechświat byłby statyczny, ponieważ wszelki rodzaj ruchu wymaga czasu.

Jak zatem z powrotem powiązać to z naszym ciągłym i płynnym doświadczeniem czasu? Można po prostu zmontować te wszystkie fotografie po kolei i zrobić z nich film, który będzie tak płynny, jak tylko

zechcemy – między naszymi plasterkami możemy przecież robić coraz mniejsze odstępy czasowe, aż staną się nieskończenie małe[3].

Właśnie po to wymyślono matematyczny język fizyki – rachunek różniczkowy i całkowy: by móc przekształcić wiele drobniuteńkich plasterków w płynną zmianę. Gdy oglądasz film, nie zauważasz, że tak naprawdę to seria zatrzymanych obrazów, ponieważ odstępy czasowe między nimi są bardzo małe. W ten sam sposób nasz opis wszechświata pełnego zmiany i ruchu jest zestawem uporządkowanych statycznych zdjęć

powiązanych ze sobą na mocy praw fizyki. Czas jest tym, co układa te migawki w kolejności.

Ciągle to trochę niejasne!

Jeśli podana przed chwilą definicja czasu wydaje ci się trochę mętna i niezadowalająca, to weź numerek i spokojnie czekaj. Fizycy, filozofowie i pięciolatki od wielu stuleci spierają się o to, czym właściwie jest czas. Jak dotąd nie pojawiło się żadne sformułowanie słowne na opisanie czasu, które zostałoby powszechnie przyjęte[4]. Otwórz jakikolwiek podręcznik do fizyki, a przekonasz się, że mało który w ogóle próbuje poruszać ten temat. To jedna z głównych tajemnic czasu: że opiera się precyzyjnej definicji. Jest tak głęboko zakorzeniony w naszym sposobie patrzenia na świat i w narzędziach jego rozumienia, że możemy jedynie mówić o czasie w kategoriach ogólnych i starać się odwrócić uwagę czytelnika takimi skomplikowanymi słowami jak „rachunek różniczkowy i całkowy” czy „fretki”.

Cały aparat poznawczy umożliwiający pojmowanie naszego miejsca we wszechświecie zakłada to nieustanne doświadczanie czasu – i na ogół ten aparat faktycznie się sprawdza[5]. Ale mimo to wciąż istnieje wiele pytań, które możemy sobie stawiać na temat tego mętnego pojęcia czasu. Na przykład dlaczego w ogóle czas jest? Dlaczego wydaje się, że czas biegnie tylko do przodu? Czy rzeczywiście biegnie tylko do przodu? Powiada się, że jest częścią czasoprzestrzeni, ale dlaczego tak bardzo różni się od przestrzeni? Czy możemy cofnąć się w czasie i kupić akcje Google’a w 2001 roku?

Czas zagłębić się w czas.

Czas jest czwartym wymiarem (naprawdę?)

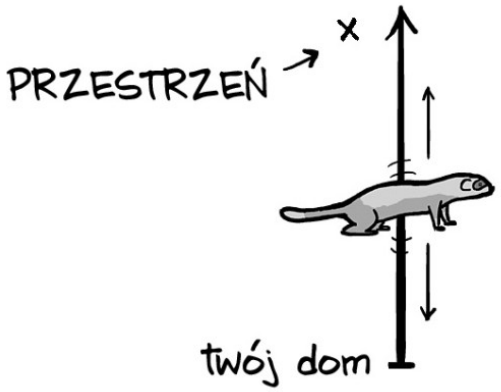
Być może zauważyłeś, że wyobrażenie czasu jako długiego kontinuum, wzdłuż którego możemy podróżować, jest uderzająco podobne do innej fundamentalnej części wszechświata: przestrzeni.

Tę samą logikę rozcinania naszej podróży przez czas na statyczne zdjęcia można również zastosować do ruchu w przestrzeni. Prowadzi nas to do zastanowienia się nad możliwością istnienia bliskiego związku między czasem a przestrzenią.

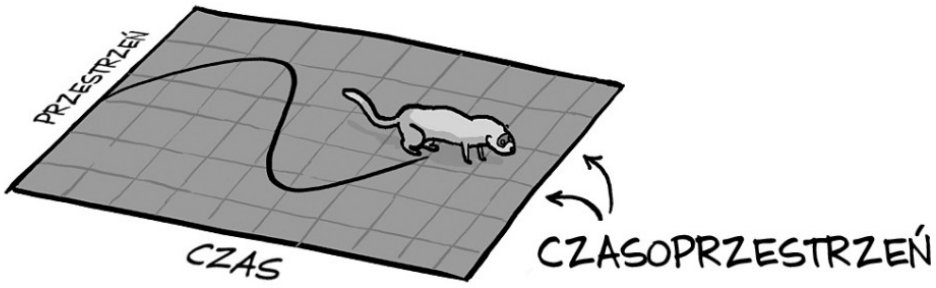
Rzeczywiście współczesna fizyka mówi, że czas i przestrzeń są bardzo podobne, i pod wieloma względami można całkowicie słusznie myśleć o czasie jako kolejnym kierunku, w którym możemy się poruszać. Daj sobie chwilkę, żeby się oswoić z tą myślą. Jak to często bywa, łatwiej o czymś myśleć, gdy się trochę uprości nasz wszechświat. Wyobraź sobie, że zamiast trzech znanych nam kierunków w przestrzeni istnieje tylko jeden, w którym możesz się poruszać.

A teraz wyobraź sobie dzień z życia twojej jednowymiarowej fretki. Pan fretka budzi się rano i ma mnóstwo do zrobienia (te kawały z balonami

z wodą same się nie zaplanują ani nie zorganizują!). Wyobraźmy sobie, że przed twoim powrotem fretka robi parę kursów do sklepu z balonami i z powrotem.



Rysunek przedstawia fretkę poruszającą się przez cały dzień w jednym wymiarze. Ale możesz też pomyśleć o drodze swojej fretki na dwuwymiarowej płaszczyźnie zwanej czasoprzestrzenią. W rzeczywistości w fizyce matematyka opisująca ruch jest prostsza i czystsza, jeśli traktuje się czas jako czwarty wymiar (przy założeniu, że mamy tylko trzy wymiary przestrzeni; na temat innych możliwości zob. rozdział 9).



To zawsze daje wielką satysfakcję, kiedy połączy się dwa różne pojęcia i okaże się, że stanowią część jakiejś większej struktury. Jest to często pierwszy krok do głębszego zrozumienia jakiegoś zjawiska. Na przykład

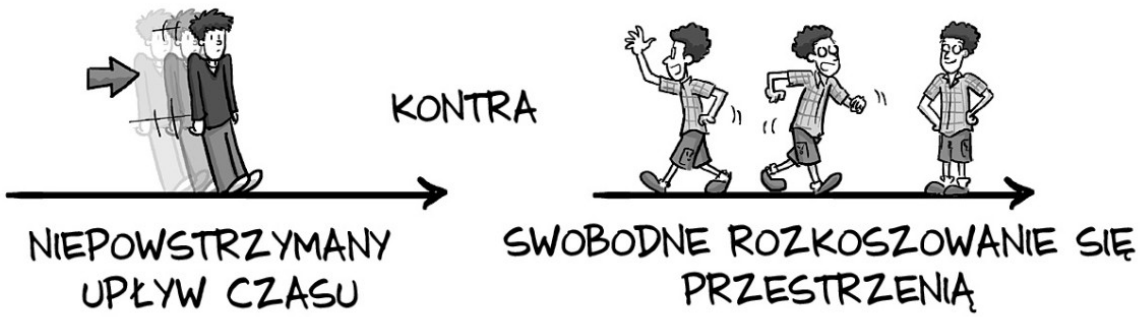
kiedy sobie uświadamiasz, jakie pyszne jest połączenie czekolady i masła orzechowego, to wiesz, że muszą stanowić element jakiegoś głębokiego, powszechnego kontinuum czekoladowo-orzechowego.

Ale nie podniecaj się za bardzo. Ten związek między przestrzenią a czasem nie znaczy, że można myśleć o czasie jako wymiarze przestrzeni ze wszystkimi wiążącymi się z tym skutkami. Pod paroma względami czas bardzo różni się od przestrzeni. I to są właśnie te pozostałe fundamentalne tajemnice czasu, które – mamy nadzieję – pozwolą nam zrozumieć czasoprzestrzeń w szerszej perspektywie. Jak dotąd wiemy zaledwie, o co pytać.

Pytanie numer 1:
Czym różni się czas od przestrzeni (i dlaczego)?

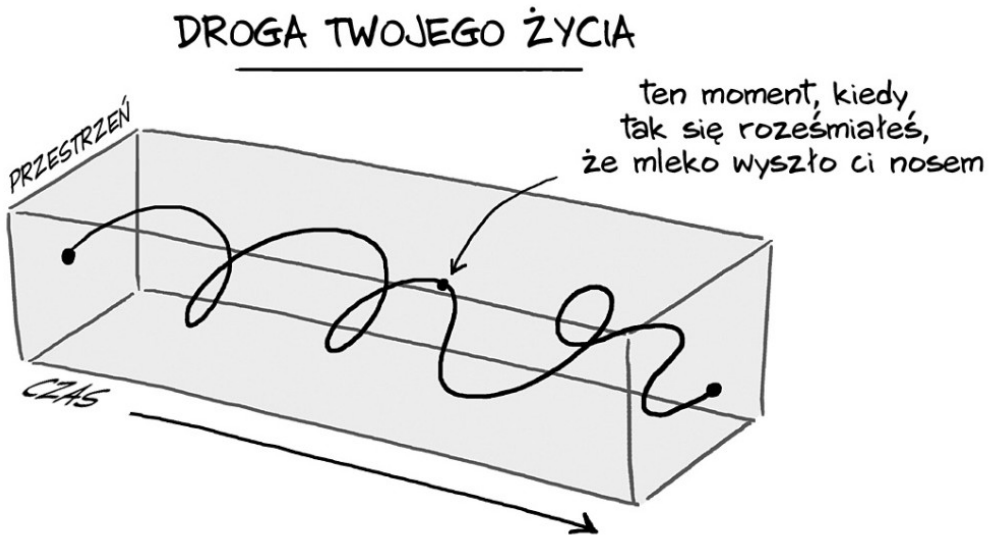
Powiązanie czasu i przestrzeni jest pomocne, ponieważ z jednej strony możemy zobaczyć, w czym są do siebie podobne, a z drugiej dostrzec uwydatnione w ten sposób różnice między nimi. Twoje doświadczanie czasu jest całkiem inne niż doświadczanie przestrzeni.

Na początek: w przestrzeni możesz poruszać się swobodnie, jak tylko chcesz. Możesz chodzić w kółko albo cofać się do miejsc, w których już byłeś. Możesz też przemieszczać się w przestrzeni tak szybko, jak chcesz: prędzej lub wolniej. Możesz także zatrzymać się w jakimś miejscu i przez jakiś czas w ogóle się nie ruszać. Natomiast z czasem jest inaczej. W odniesieniu do czasu nie cieszysz się taką wolnością.



Przez czas poruszasz się w równym, stałym tempie (ściślej mówiąc, wynoszącym sekundę na sekundę)[6]. W czasie nie możesz pójść wstecz ani chodzić w kółko. Nie możesz nagle postanowić cofnąć się w czasie i znaleźć się w innym miejscu w przestrzeni, niż byłeś w tamtym wcześniejszym czasie. Mimo że w różnym czasie możesz znaleźć się w tym samym miejscu w przestrzeni, to nie możesz znajdować się w różnych miejscach w przestrzeni w tym samym czasie.

Równie dziwne jest co innego: to, że coś ma ustalone położenie (zajmuje jedno miejsce w przestrzeni), wydaje się nam normalne, ale byłoby naprawdę dziwaczne, gdybyśmy mogli ustalić czas. Dzieje się tak dlatego, że czas prze do przodu jak czoło fali. Kiedy dana chwila upływa, upływa na zawsze (pomyśl na przykład o tych delicjach, które leżały na blacie). Twoje położenie w przestrzeni jest natomiast zmienne i nieokreślone z góry. Jest mnóstwo miejsc w przestrzeni, w których za swego życia nigdy się nie znajdziesz, i mnóstwo takich, w których będziesz wielokrotnie. Ale pomiędzy chwilą twoich narodzin a chwilą twojej śmierci przez czas poruszasz się wyłącznie w jednym kierunku. O ile historia twojego życia nie jest bardzo szczególna (czyli o ile nie przebywasz na przykład na statku lecącym z misją kolonizacji kosmosu, pokonującym trasy międzygalaktyczne w czasie rzędu kilku pokoleń), twoja podróż przez czas będzie znacząco się różnić od podróży w przestrzeni.



Wprawdzie myślenie o czasie jako o kolejnym wymiarze jest pod względem matematycznym wygodne w naszych teoriach, warto jednak pamiętać, że pewne istotne różnice decydują o wyjątkowym charakterze czasu. Czas funkcjonuje inaczej niż przestrzeń, ponieważ czas nie jest zbiorem połączonych ze sobą lokalizacji. Czas wyobrażamy sobie raczej jako szereg przyczynowo połączonych ze sobą statycznych migawek wszechświata, a to ma olbrzymie konsekwencje dla tego, co możemy (oraz czego nie możemy) z czasem robić.

Pytanie numer 2:
Czy możemy przemieszczać się w czasie wstecz?

Lektura tej książki powinna nauczyć cię już dużego sceptycyzmu w stosunku do jakichkolwiek niemożności. Może przecież być tak, że teraz uznajemy coś za niemożliwe, ale nasza ocena się zmieni, gdy pogłębimy nasze rozumienie wszechświata. Wiele rzeczy, które kiedyś wydawały się niemożliwe, jest obecnie banalnie prostych, na przykład dostęp do większej

części ludzkiej wiedzy i całej masy bezsensownych śmieci za pośrednictwem telefonu mieszczącego się w kieszeni[7].

Ale w wypadku podróży w czasie współczesna fizyka ma całkowitą pewność, że są one niemożliwe. Każdy scenariusz, w którym można przenosić się w przeszłość, szybko prowadzi do paradoksów, które naruszają głębokie i podstawowe założenia na temat funkcjonowania wszechświata.

W niektórych opowieściach z gatunku science fiction kosmici albo ludzie dysponujący nadzwyczajnymi możliwościami są w stanie traktować czas jako wymiar przestrzenny i poruszać się w nim tam i z powrotem; pozwala im to przemieszczać się w czasie tak, jak my chodzimy po korytarzu. Ale chociaż takie historie to naprawdę świetna lektura, przy której można się nieźle ubawić, z punktu widzenia fizyki rodzą one poważne problemy[8].

Przede wszystkim cofanie się w czasie może zrujnować przyczynowość. Jeśli chcesz, żeby wszechświat był sensowny, to w takim razie musisz uznać, że to poważna sprawa. Jeśli nie robi ci różnicy, że skutki wydarzają się przed przyczynami (obciążenie na twojej karcie kredytowej pojawia się

przed kupieniem tej książki albo twoje fretki zjadają ci śniadanie, zanim zdążysz je przygotować), to musisz mieć umysł bardziej otwarty niż nasze.

Bez przyczynowości tak naprawdę nic nie ma sensu. Gdyby na przykład twoim fretkom znudziło się zrzucanie ci na głowę balonów z wodą, gdy wracasz do domu, ponieważ zrobiłbyś się ostrożny i spodziewałbyś się tego, mogłyby zbudować wehikuł czasu, by cofnąć się do jakiegoś dnia w 2005 roku, zanim kupiłeś fretki, kiedy byłeś jeszcze naiwny i łatwo było cię zaskoczyć. Gdyby fretkom udało się oblać cię wtedy, mogłoby to mieć niezamierzone konsekwencje. Załóżmy, że właśnie w tamtym czasie zastanawiałbyś się, czy jako zwierzątek domowych nie wybrać właśnie fretek, i to wydarzenie pomogłoby ci podjąć decyzję. Gdybyś postanowił ich nie kupować, to nie miałbyś fretek, które mogłyby cię później oblewać, aż by się w końcu znudziły i wybudowały wehikuł czasu! To z kolei znaczyłoby, że w 2005 roku nie doszłoby też do zaatakowania cię balonem z wodą, co sprawiłoby, że jednak kupiłbyś fretki itd. Zostałeś uwięziony w wiecznym cyklu fretkowej niespójności! Morał z tej historii jest taki, że podróże w czasie są niemożliwe, ponieważ naruszają przyczynowość, oraz że powinieneś porządnie się zastanowić, zanim zdecydujesz się na fretki. Jest to słynny paradoks z fretkami[9].

Co ważniejsze, powinieneś uważnie przemyśleć, co tak naprawdę się dzieje w tych zabawnych opowieściach z gatunku science fiction. Kosmici poruszają się w fikcyjnej czasoprzestrzeni, ale pamiętaj, że ruch musi zakładać upływ czasu. Kosmici w jakiejś chwili mają pewne położenie w czasoprzestrzeni, a chwilę później – inne położenie. Co oznacza „później”? Pełni najlepszych intencji autorzy opowieści o kosmitach musieli ponownie włączyć pojęcie linearnego czasu i nałożyć je na stworzony przez siebie czasoprzestrzenny wszechświat. Płynie stąd

wniosek, że trudno wymyślić spójny wszechświat (nawet fikcyjny), w którym czas bardziej przypomina przestrzeń.

Pytanie numer 3: Dlaczego czas biegnie do przodu?

Skoro nie możemy się cofać w czasie, słusznie mógłbyś zapytać: „Dlaczego czas biegnie do przodu?”.

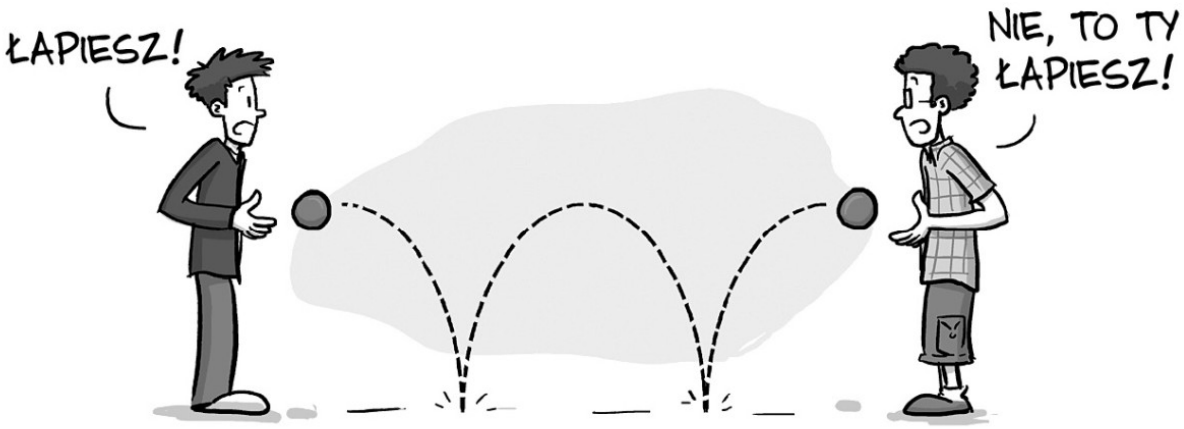
Pojęcie czasu, który nie biegnie do przodu, jest dla nas dziwaczne. Raczej nie spodziewasz się, że po zakończeniu pieczenia wyjmiesz z kuchenki surowe jedzenie albo że pewnego upalnego dnia w twojej szklance nagle zastygną zmrożone kostki lodu, albo że tamte delicje same się „odjedzą”. Wymienione procesy – ale przebiegające we „właściwym” kierunku – są ci dobrze znane; natomiast gdybyś zobaczył któryś z nich „od końca”, pewnie pomyślałbyś o zmniejszeniu dawki leków, które właśnie przyjmujesz.

Podobnie, możesz pamiętać coś, co działo się w przeszłości, ale nie możesz pamiętać tego, co wydarzy się w przyszłości[10]. Wydaje się, że czas preferuje jeden kierunek, a my nie mamy pojęcia dlaczego.

To podstawowe pytanie – dlaczego czas biegnie tylko do przodu? – od długiego czasu zastanawiało fizyków. Prawdę mówiąc, co w ogóle znaczy „do przodu w czasie”? W jakimś wszechświecie, w którym czas płynie w drugą stronę, tamtejsi naukowcy mogliby mówić o tamtym kierunku, że to jest „do przodu”. Wobec tego tak naprawdę pytanie powinno brzmieć: dlaczego czas biegnie w kierunku, w którym biegnie?

Najpierw należy rozważyć, czy wszechświat w ogóle by funkcjonował, gdyby czas biegł w drugą stronę. Czy prawa fizyki wymagają, by czas biegł w jednym kierunku? Wyobraź sobie, że oglądasz nagranie z jakiegoś wszechświata. Czy na podstawie starannej analizy potrafiłbyś powiedzieć, czy ten film jest odtwarzany do przodu czy wstecz? Powiedzmy, na przykład, że oglądasz nagranie pokazujące odbijającą się pionowo piłkę. Dopóki piłka podskakiwałaby idealnie (i nie traciłaby ani trochę energii w wyniku tarcia i oporu powietrza), dopóty wersje tego nagrania odtwarzane do przodu i do tyłu wyglądałyby dokładnie tak samo! To samo dotyczy cząsteczek gazu odbijających się od siebie w jakimś pojemniku albo cząsteczek wody płynącej w rzece. Nawet mechanika kwantowa świetnie się sprawdza w kierunku wstecznym[11]. W rzeczywistości prawie wszystkie prawa fizyki mogłyby działać równie dobrze wstecz, jak działają w przód.

Ale nie wszystkie.



Przykład idealnie podskakującej piłki jest nierealny, ponieważ pomija tarcie piłki o powierzchnię podłoża, opór powietrza oraz mnóstwo innych sposobów, na jakie energia piłki rozprasza się w postaci ciepła. Po kilku podskokach nawet ulubiona superpiłeczka twojej fretki przestanie podskakiwać na dokładnie tę samą wysokość, a w końcu zatrzyma się na ziemi. Cała jej energia zostania przekształcona w ciepło cząsteczek powietrza, cząsteczek piłki i cząsteczek podłoża.

A teraz wyobraź sobie, jak dziwnie wyglądałoby nagranie prawdziwej odbijającej się piłki puszczone do tyłu: najpierw piłka leży na podłodze, po czym nagle zaczyna podskakiwać coraz wyżej i wyżej. Jeszcze dziwniej wyglądałby przepływ energii: powietrze, piłka i podłoże odrobinę by się ochłodziły, a oddane przez nie ciepło zostałoby przekształcone w ruch piłki.

Na tym przykładzie na pewno potrafiłbyś odróżnić, który film odtworzono do przodu, a który wstecz. To samo dotyczy pozostałych podanych wyżej przykładów: pieczenia w kuchence, rozpuszczania się kostek lodu i jedzenia ciastek. Ale skoro większość praw fizyki świetnie działa wstecz – szczególnie mikrofizyka ciepła i dyfuzji – to dlaczego te makroskopowe procesy wydają się postępować tylko w jednym kierunku? Powodem tego jest miara stopnia nieuporządkowania układu, znana pod

nazwą entropii, która bardzo silnie upodobała sobie jeden kierunek w czasie.

Entropia zawsze rośnie z upływem czasu. Jest to prawidłowość znana jako druga zasada termodynamiki. Wyobraź sobie entropię jako miarę stopnia nieuporządkowania. Kiedy zapomnisz nakarmić fretkę i twój ulubieniec zaśmieci ci salon, przewróci perfekcyjnie przez ciebie ułożony stos podpisanych egzemplarzy tej książki, wówczas znaczy to, że zwierzątko zwiększyło entropię twojego salonu, zwiększając jego nieuporządkowanie.

Jeśli wrócisz do domu i wszystko to poukładasz na nowo, wówczas będzie to znaczyło, że zmniejszysz entropię salonu, ale zrobienie tego wymaga całkiem sporo energii, którą uwalniasz w postaci ciepła, frustracji i mruczenia pod nosem, że jak tylko wróci twój współlokator, powiesz mu, że mieszkanie z fretką to był jednak kiepski pomysł. Ta energia, którą uwalniasz, porządkując wasz salon, powoduje wzrost całkowitej entropii. Ilekroć w danym miejscu tworzysz jakikolwiek porządek – układasz książki, rysujesz coś na kartce albo włączasz klimatyzację – jednocześnie jako efekt uboczny powodujesz nieuporządkowanie, zazwyczaj w formie ciepła. Zgodnie z drugą zasadą termodynamiki, średnio rzecz biorąc,

niemożliwe jest zmniejszanie się całkowitej entropii w kierunku upływu czasu.

(Zwróć uwagę: to stwierdzenie probabilistyczne. Z formalnego punktu widzenia jest możliwe, że gang rozjuszonych fretek przypadkowo zorganizuje się w doskonale uporządkowany oddział, zmniejszając tym samym własną entropię, ale jest to bardzo mało prawdopodobne. Mogą się zdarzyć pojedyncze tego typu wypadki, ale w ujęciu średnim entropia zawsze rośnie).

Niektóre tego konsekwencje mrożą krew w żyłach: ponieważ entropia wyłącznie wzrasta, to w końcu – w bardzo, bardzo, bardzo, bardzo odległej przyszłości – wszechświat osiągnie maksymalny stopień nieuporządkowania, znany pod wdzięczną nazwą „śmierci cieplnej wszechświata”. W tym stanie cały wszechświat będzie miał tę samą temperaturę, co znaczy, że wszystko stanie się całkowicie nieuporządkowane, nie będzie już nawet najmniejszej strefy o uporządkowanej strukturze (na przykład ludzi). Do tego czasu tworzenie miejscowych stref uporządkowania przy jednoczesnym tworzeniu równoważących je stref nieuporządkowania jest możliwe tylko dlatego, że

wszechświat nie osiągnął jeszcze maksymalnego nieuporządkowania, jest więc jeszcze trochę pola manewru.

A teraz wyobraź sobie, że przenosisz się w czasie wstecz. W każdym momencie w przeszłości wszechświat miał mniej entropii (więcej porządku), niż ma teraz, aż do chwili Wielkiego Wybuchu. Pomyśl o Wielkim Wybuchu jak o tym momencie, kiedy do twojego nieskazitelnie czyściuteńkiego nowego domu nie przyjechały jeszcze samochody firmy przeprowadzkowej i nie pojawiły się w nim jeszcze małe dzieci. Ten początkowy stan wszechświata, kiedy entropia była najniższa, decyduje o tym, ile czasu upłynie między narodzinami wszechświata a jego śmiercią cieplną. Gdyby wszechświat zaczął istnieć, mając wysoki stopień nieuporządkowania, nie zostałoby dużo czasu do jego śmierci cieplnej. W naszym wypadku wydaje się, że wszechświat na samym początku był bardzo silnie uporządkowany, co daje nam mnóstwo czasu, zanim osiągniemy stan maksymalnej entropii.

Dlaczego w ogóle wszechświat zaczął istnieć w tak silnie uporządkowanej konfiguracji o niskiej entropii? Nie mamy pojęcia. Ale na pewno możemy uznać, że – na całe szczęście – tak było, bo między jego początkiem a końcem zostało mu naprawdę dużo czasu na robienie ciekawych rzeczy, takich jak tworzenie planet, ludzi i lodów na patyku.

Czy entropia pomaga nam zrozumieć czas?

Entropia jest wpisana w jedno z nielicznych praw fizyki, dla którego ma znaczenie kierunek upływu czasu.

Większość procesów, które wpływają na entropię – na przykład prawa kinematyki decydujące o tym, jak odbijają się od siebie cząsteczki gazu – mogłaby zachodzić równie dobrze w przeciwnym kierunku. Jednak

wszystkie razem podlegają zasadzie, która wymaga, by stopień uporządkowania malał z upływem czasu. Wobec tego czas i entropia są w jakiś sposób ze sobą powiązane. Dotychczas ustaliliśmy tylko pewną współzależność: entropia wzrasta z upływem czasu.

Czy to znaczy, że za sprawą entropii czas płynie tylko do przodu, tak jak woda z góry spływa po niej tylko w dół? Czy może to entropia podąża za strzałką czasu – tak jak szczątki porwane przez trąbę powietrzną?

Nawet jeśli przyjmiesz, że entropia rośnie z upływem czasu, wciąż nie wyjaśnia to, dlaczego czas płynie tylko do przodu. Możesz sobie na przykład wyobrazić wszechświat, w którym czas biegnie w tył, a entropia maleje wraz z upływem ujemnego czasu, co utrzymywałoby ich wzajemną relację oraz nie naruszałoby drugiej zasady termodynamiki!

Wobec tego entropia nie tyle pozwala nam rozumieć czas, ile jest pewną wskazówką. Jest jedną z nielicznych wskazówek, jakie mamy na temat tego, jak działa czas, dlatego zasługuje na wnikliwą uwagę. Czy entropia jest kluczem do zrozumienia kierunku czasu? Choć wielu badaczy

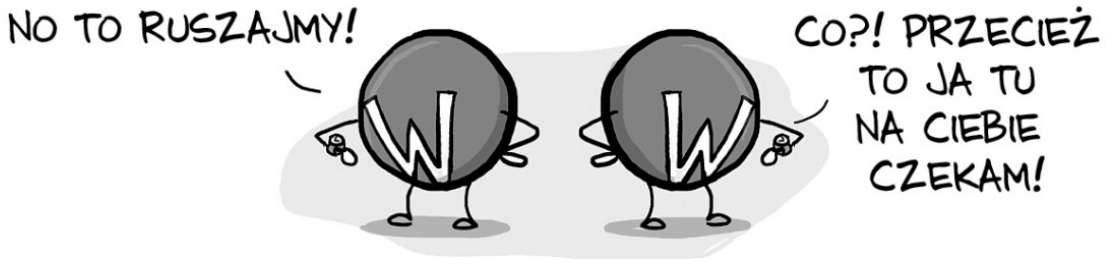
podejrzewa, że tak, wciąż tego nie wiemy. Mało tego: mamy bardzo mało sposobów, by móc to rozgryźć.

Czas i cząstki

Jeśli chodzi o małe cząstki, to jest im na ogół wszystko jedno, w którą stronę biegnie czas. Na przykład elektron równie chętnie emituje foton co go pochłania. Dwa kwarki mogą zlać się ze sobą, tworząc bozon Z, a bozon Z może się rozpaść na dwa kwarki. Najczęściej na podstawie obserwacji oddziaływań między pojedynczymi cząstkami nie sposób określić, w którą stronę w naszym wszechświecie płynie czas. Nie jest tak jednak w każdym wypadku. Istnieje jeden rodzaj oddziaływań między cząstkami, który funkcjonuje inaczej w zależności od tego, czy puścimy czas do przodu, czy do tyłu.

Pewna część oddziaływania słabego – tego, które odpowiada za rozpad jąder atomowych i którego nośnikami są bozon W oraz bozon Z – woli jeden kierunek. Zrozumienie szczegółów nie jest tak strasznie ważne, a efekt jest niewielki, ale prawdziwy. Na przykład kiedy oddziaływanie silne łączy ze sobą parę kwarków, czasem istnieją dwa różne możliwe ich układy. Kwarki mogą się przełączać między tymi dwoma układami przy wykorzystaniu oddziaływania słabego, ale przełączanie się w jednym kierunku trwa dłużej niż przełączanie się z powrotem. Wobec tego odtworzenie nagrania tego procesu od końca wyglądałoby inaczej niż odtworzenie go normalnie.

Co to ma wspólnego z czasem? Dokładnie nie wiemy, ale wygląda to na pożyteczną wskazówkę.

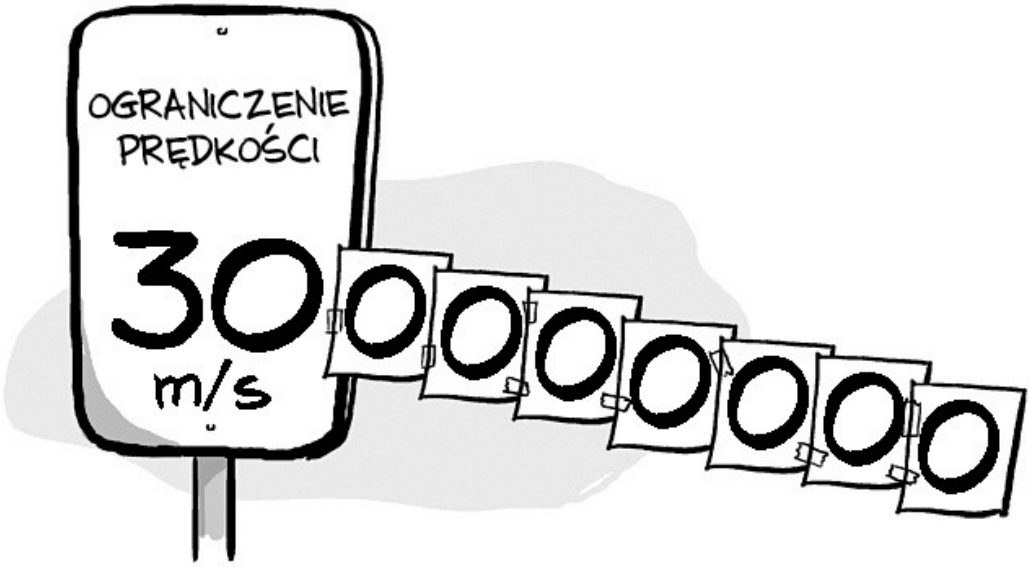


Pytanie numer 4:
Czy wszyscy jednakowo doświadczamy czasu?

Aż do XX wieku nauka uważała, że czas jest czymś całkiem uniwersalnym: że wszyscy i wszystko we wszechświecie doświadczają czasu w ten sam sposób. Zakładano, że gdyby umieścić identyczne zegary w różnych częściach wszechświata, ich wskazania pokrywałyby się na wieki. W końcu tego właśnie doświadczamy w codziennym życiu. Wyobraź sobie, jaki chaos by zapanował, gdyby każdy zegar chodził inaczej!

Później jednak wszystko zmieniła teoria względności Alberta Einsteina, wiążąc przestrzeń i czas w jedno pojęcie: czasoprzestrzeń[12]. Jak wiadomo, Einstein przewidział, że zegary, które się poruszają, chodzą wolniej. Jeśli wybierzesz się do pobliskiej gwiazdy, lecąc tam z prędkością bliską prędkości światła, doświadczysz upływu krótszego czasu niż ci, których zostawisz na Ziemi. To nie znaczy, że będziesz doświadczał czasu w zwolnionym tempie, jak w *Matriksie*. Znaczy to, że ludzie i zegary na Ziemi zmierzą więcej upływającego czasu niż zegary na twoim statku kosmicznym. Wszyscy doświadczamy czasu w ten sam sposób (płynącego w normalnym tempie sekundy na sekundę), ale nasze zegary mają różne wskazania, jeśli poruszamy się względem siebie z ogromną prędkością.

Gdzieś w Szwajcarii pewien zegarmistrz właśnie dostał zawału.



Identyczne zegary chodzące z różną prędkością wydają się przeczyć wszelkiej logice i rozumowi, a jednak tak właśnie działa to we wszechświecie. Wiemy, że tak jest, ponieważ doświadczamy tego w codziennym życiu. Odbiornik GPS w twoim telefonie (czy też w samochodzie albo samolocie) zakłada, że czas biegnie wolniej dla wyposażonych w GPS satelitów krążących wokół Ziemi (które poruszają się z prędkością rzędu tysięcy kilometrów na godzinę w przestrzeni zakrzywionej przez gigantyczną masę Ziemi). Bez tej informacji twoje urządzenie GPS nie byłoby w stanie dokładnie zsynchronizować i wyznaczyć (metodą triangulacji) twojej pozycji na podstawie sygnałów przekazywanych przez te satelity. Kluczową sprawą jest to, że wprawdzie wszechświat działa zgodnie z logicznymi zasadami, to jednak czasem te zasady nie są takie, jak się spodziewasz. W tym wypadku winowajcą jest górne ograniczenie prędkości we wszechświecie: prędkość światła.

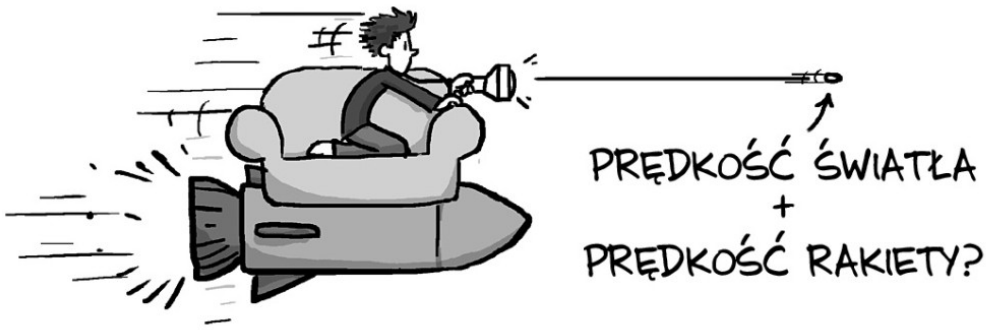
Zgodnie z teorią względności Einsteina nic, nawet informacja ani ekspresowa dostawa pizzy, nie może się przemieszczać szybciej niż

prędkość światła. To twarde górne ograniczenie prędkości (czyli pokonanej w danym czasie odległości podzielonej przez ten czas) wyjaśnia pewne dziwne konsekwencje, które podważają nasze pojęcie czasu.

Najpierw upewnijmy się, że rozumiemy, jak działa to ograniczenie prędkości. Najważniejszą zasadą jest to, że musi się ono stosować do każdego, kto mierzy dowolną prędkość z dowolnego punktu obserwacji. Kiedy mówimy, że nie można zaobserwować niczego, co poruszałoby się szybciej niż prędkość światła, mamy na myśli absolutnie nic, bez względu na to, z jakiej perspektywy na to patrzymy.

Przeprowadźmy zatem prosty eksperyment myślowy. Załóżmy, że siedzisz na sofie i włączasz latarkę. Z twojej perspektywy światło biegnąc z latarki, oddala się od ciebie z prędkością światła.

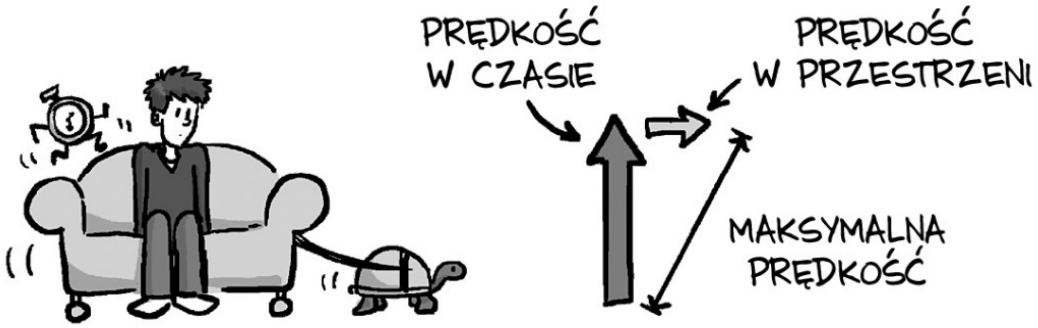
Ale gdybyśmy przymocowali tę sofę do rakiety, a rakietę odpalili i zacząłbyś naprawdę szybko lecieć? Co się teraz stanie, kiedy włączysz latarkę? Czy jeśli skierujesz światło w kierunku, w którym leci rakieta, to będzie ono się poruszać z prędkością światła plus z prędkością rakiety?



Tego rodzaju pomysłom więcej czasu poświęcimy w rozdziale 10, ale najkrócej mówiąc, chodzi o to, że aby dla wszystkich obserwatorów (dla ciebie w rakiecie i dla nas wszystkich tu, na Ziemi) światło z tej latarki

miało prędkość światła, inna wielkość fizyczna musi być dla tych różnych obserwatorów różna – i tą wielkością jest właśnie czas.

W zrozumieniu tej koncepcji pomoże nam wspomniane wcześniej potraktowanie czasu jako czwartego wymiaru czasoprzestrzeni. Pomoże też wyobrażenie sobie, że ograniczenie prędkości we wszechświecie stosuje się do twojej całkowitej prędkości zarówno w czasie, jak i w przestrzeni. Jeśli siedzisz na sofie na Ziemi, nie masz żadnej prędkości w przestrzeni (w stosunku do Ziemi), więc twoja prędkość w czasie może być wysoka.



Jeśli jednak jesteś na rakiecie poruszającej się względem Ziemi z prędkością zbliżoną do prędkości światła, wówczas twoja prędkość w przestrzeni jest bardzo wysoka. Aby więc twoja całkowita prędkość w czasoprzestrzeni w stosunku do Ziemi nie przekraczała ograniczenia prędkości obowiązującego we wszechświecie, twoja prędkość w czasie – mierzona przez zegary na Ziemi – musi zmaleć.

Nadążasz?

Być może będziesz musiał nieco wysilić mózg, by pomyśleć, że różni ludzie mogą odnotowywać różny upływ czasu, ale tak to już jest w tym wszechświecie. Co jeszcze dziwniejsze, w pewnych wypadkach obserwatorzy mogą nie zgadzać się między sobą co do kolejności obserwowanych wydarzeń, mimo że wszyscy z nich poprawnie odnotowali to, co obserwują.

Na przykład dwóch uczciwych obserwatorów może się różnić co do tego, kto wygrał wyścig równoległy, jeśli ci obserwatorzy poruszają się z bardzo różną prędkością.

Gdybyś urządził wyścig z udziałem lamy i fretki, to w zależności od tego, jak szybko byś się przemieszczał i gdzie byś się znajdował w stosunku do wyścigu, mógłbyś zobaczyć, że wygrywa jedno lub drugie z twoich ukochanych zwierzątek. Każde z nich miałoby własną wersję wydarzeń, a gdyby twoja babcia była w stanie rozwinąć prędkość zbliżoną do prędkości światła, być może ona miałaby jeszcze inne zdanie. I wszyscy mieliby słuszność! (Zwróć jednak uwagę, że wszyscy oni różniliby się również co do tego, kiedy każdy z uczestników wyścigu wystartował).

Trudno pogodzić się z myślą, że różni ludzie mogą doświadczać czasu w różny sposób, ponieważ mamy skłonność sądzić, że istnieje jakaś absolutnie prawdziwa historia wszechświata. Wyobrażamy sobie, że wszystko, co dotychczas wydarzyło się we wszechświecie, można by w zasadzie spisać w formie jednej (bardzo, bardzo długiej i w większości supernudnej) opowieści. Gdyby taka historia istniała, to każdy mógłby skonfrontować z nią własne doświadczenie, a z wyjątkiem zwykłych pomyłek i niedokładnej percepcji ta opowieść pokrywałaby się z tym, co każdy widział. Jednak teoria względności Einsteina jasno stwierdza, że wszystko jest względne, i nawet opis wydarzeń we wszechświecie zależy od tego, kto go sporządza.

Ostatecznie musimy porzucić wyobrażenie czasu jako absolutnego i jedynego zegara dla całego wszechświata. Czasem prowadzi nas to w obszary, które intuicyjnie wydają się bezsensowne, ale niezwykłe jest w tym, że taki właśnie sposób pojmowania czasu sprawdzono i potwierdzono. Podobnie jak wypadku wielu innych rewolucyjnych koncepcji w fizyce, jesteśmy zmuszeni rozstać się z własną intuicją

i podążyć ścieżką matematyki, mniej podatną na nasze subiektywne doświadczanie czasu.

Pytanie numer 5: Czy czas kiedyś się zatrzyma?

Od razu ma się ochotę wykluczyć, by czas mógł kiedykolwiek się zatrzymać. Nigdy nie widzieliśmy, żeby czas nie biegł naprzód, więc jak mógłby zachowywać się inaczej? Ponieważ jednak nie za bardzo wiemy, dlaczego w ogóle czas płynie wyłącznie do przodu, trudno stwierdzić z całą pewnością, czy zawsze tak będzie.

Według części fizyków kierunek „strzałki” czasu określa zasada, że entropia musi wzrastać, albo – innymi słowy – kierunek czasu jest taki sam jak kierunek wzrastającej entropii. Jeśli jednak tak jest, to co się stanie, gdy wszechświat osiągnie maksymalną entropię? W takim wszechświecie wszystko będzie w stanie równowagi i nie będzie można wprowadzić żadnego uporządkowania. Czy w tym punkcie czas się zatrzyma, czy przestanie mieć znaczenie? Niektórzy filozofowie spekulują, że wówczas strzałka czasu i zasada rosnącej entropii mogłyby się odwrócić, kierując wszechświat w stronę kurczenia się z powrotem do postaci maleńkiej osobliwości. Takie pomysły należą jednak bardziej do kategorii spekulacji snutych po nocach pod wpływem dziwnych ziół niż do kategorii faktycznych naukowych przewidywań.

Inne teorie sugerują, że w chwili Wielkiego Wybuchu powstały dwa wszechświaty: jeden, w którym czas płynie do przodu, i drugi, w którym płynie wstecz. Jeszcze bardziej zwariowane są teorie proponujące więcej niż jeden kierunek czasu. Dlaczego nie? Mamy trzy (albo i więcej) kierunki, w których możemy poruszać się w przestrzeni – dlaczego nie mieć dwóch lub więcej kierunków w czasie? Prawda jest taka, że jak zwykle nie mamy pojęcia.

Czas kończyć

Istnieją, jak widać, bardzo poważne pytania na temat natury czasu, a odpowiedzi na nie mogą wstrząsnąć podstawami współczesnej fizyki. Z jednej strony doniosłość tych zagadnień sprawia, że są one fascynującym tematem przemyśleń i rozważań, z drugiej – nastręcza wielkich trudności.

Jak podejść do tych problemów? W odróżnieniu od innych pytań stawianych w tej książce, te dotyczące czasu nie podsuwają żadnego oczywistego eksperymentu, który pomógłby na nie odpowiedzieć. Nie możemy zatrzymać czasu, by go przeanalizować, nie możemy też przeprowadzić powtórnego pomiaru czasu tego samego wydarzenia. Jest to na tyle dziwny temat, że bardzo niewielu naukowców zajmuje się nim

bezpośrednio. Jest głównie domeną emerytowanych profesorów i paru gorliwych młodszych badaczy skłonnych zapuszczać się na tak niepewne terytorium.

Być może postęp w tej dziedzinie dokona się dzięki bezpośrednim badaniom, a może dokonamy jakiegoś decydującego rozstrzygnięcia przypadkiem, zajmując się innymi sprawami? Czas pokaże.

---

[1] Fizycy to pięciolatki, które nigdy nie dorosły.

[2] Sorry, dzieciaki, tak naprawdę nie ma takiego zawodu.

[3] Prawie. Zasada nieoznaczoności stosuje się również do czasu, wobec tego zawsze jest trochę nieuniknionej niejasności.

[4] Szczerze mówiąc, przypuszczalnie nie ma też żadnego powszechnie przyjętego sformułowania słownego na opisanie *czegokolwiek*.

[5] Przynajmniej w odniesieniu do tych 5 procent wszechświata, które znamy.

[6] Jeśli dotrzesz w pobliże czarnej dziury albo będziesz poruszać się naprawdę szybko, prędkość twojej podróży w czasie może być mniejsza lub większa niż innych ludzi, ale ty wciąż będziesz jej doświadczał jako sekundy na sekundę.

[7] Niestety rzeczą wciąż niemożliwą jest znalezienie dobrego zasięgu akurat wtedy, kiedy naprawdę go potrzeba.

[8] Od najdawniejszych czasów fizyka psuła wszystkim zabawę.

[9] Słynny naszym zdaniem.

[10] Jeśli pamiętasz przyszłość, skontaktuj się z nami. Mamy do ciebie parę pytań.

[11] Z wyjątkiem kolapsu funkcji falowej, który zdaniem pewnych badaczy jest nieodwracalny, a zdaniem innych jest utratą spójności. Jeszcze inne zdanie mają ci, którzy po prostu lubią się kłócić.

[12] Geniusz Einsteina nie polegał na wymyślaniu kreatywnych nazw.

9

Ile jest wymiarów?

Teraz nadamy swojej niewiedzy nowy kierunek

Pogłębianie rozumienia natury wszechświata wymaga czasem kwestionowania podstawowych założeń i ponownego analizowania dawno już wyjaśnionych kwestii. Na przykład mógłbyś zapytać:

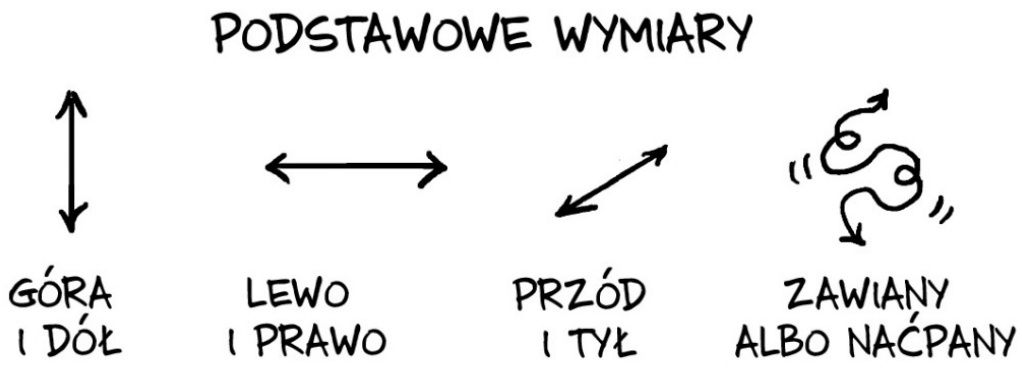
Czy prezydenta Kennedy’ego zamordowali kosmici?
Czy w przestrzeni jest więcej wymiarów niż trzy?
Czy siłą napędową wszechświata są jednorożce?
Czy da się stosować dietę opartą wyłącznie na piankach marshmallow i nie utyć?

W większości wypadków odpowiedź brzmi: „Nie” albo: „Proszę udać się do psychiatry”. Ale czasem zadawanie takich pytań otwiera nagle przed nami całkiem nowy sposób myślenia, taki, który może prowadzić do nowych fantastycznych odkryć, mających ogromny wpływ na codzienne życie.

Jeśli powoli oswajasz się już z myśleniem o przestrzeni jako o czymś raczej brejowatym i materialnym niż o pustym tle wszechświata, to chwyć się mocno barierek bezpieczeństwa swojego umysłu i przygotuj się na mocniejsze doznania, bo zajmiemy się pytaniem o liczbę wymiarów przestrzeni.

Czy przestrzeń ma więcej wymiarów niż te trzy, które znamy (góra–dół, lewo–prawo i przód–tył)? Czy to możliwe, by istniały jakieś cząstki albo byty, które mogą poruszać się w tych dodatkowych wymiarach? A gdyby te nowe wymiary istniały, to jak mogłyby wyglądać? Czy moglibyśmy ich używać jako schowków na buty albo po to, by ukryć nadmiar tłuszczu na brzuchu? Albo może dałoby się skonstruować jakiś skrót do pracy, a może nawet do dalekich gwiazd? Te pomysły brzmią niedorzecznie, ale prawdzie o naturze nieobca jest niedorzeczność.

Jak zwykle nie mamy pojęcia, jak brzmią odpowiedzi, ale istnieją kuszące teorie, które sugerują, że dodatkowe wymiary mogą istnieć naprawdę. Włóżmy więc wielowymiarowe okulary i zbadajmy tę być może ukrytą stronę (lub strony) naszego tajemniczego wszechświata.



Czym właściwie jest wymiar?

Najpierw powinniśmy dokładnie zdefiniować, co rozumiemy przez wymiar. W popularnych książkach i filmach słowa „wymiar” często używa się na oznaczenie równoległego wszechświata: jakiegoś świata oderwanego od naszego życia, świata, w którym obowiązują inne zasady, a ludzie mogą mieć nadprzyrodzone moce albo gdzie można spotkać obcych, którzy świecą w nocy. Czasem można nawet znaleźć „drzwi do innego wymiaru” i przenosić się przez nie między tymi wszechświatami. Te opowieści są naprawdę ekscytujące, a wszechświaty równoległe mogą istnieć; tyle że pod względem naukowym słowo „wymiar” ma całkiem inne znaczenie.

Jak to możliwe, że jakieś słowo ma jedno znaczenie w kulturze popularnej, a całkiem inne w nauce? Najczęściej winni są naukowcy. Ilekroć chcą użyć jakiegoś słowa do opisu dziwnej nowej rzeczy, którą odkryli albo sobie wyobrazili, zawsze albo (a) wymyślają nowe słowo (np. „egzoplanety” na oznaczenie planet znajdujących się poza naszym Układem Słonecznym), (b) próbują użyć na nowo jakiegoś słowa, które ma podobne znaczenie (np. „spin kwantowy” na oznaczenie własności cząstek, które w rzeczywistości się nie obracają, lecz charakteryzują się czymś, co

ma podobne właściwości matematyczne do momentu pędu – „spinu” – obracających się ciał), albo (c) zapożyczają istniejące słowo o całkowicie innym znaczeniu (np. „kwark powabny”, który wcale nie jest szczególnie powabny, albo „ładunek kolorowy”, który nie ma żadnego koloru, co w każdym razie wydaje się niepoprawne politycznie).

Kiedy słyszysz, że znaczenie wymiaru w nauce nie wskazuje na jakiś alternatywny wszechświat, w którym wszystko jest z czekolady, a długi spłaca się w piankach marshmallow, możesz czuć pokusę, by pogrozić palcem tym nieznośnym naukowcom, że kradną słowo i nadają mu inny sens. Ale lepiej się powstrzymaj, żeby nie narobić sobie wstydu, bo w tym wypadku wina leży wyłącznie po stronie autorów science fiction. Matematycy i naukowcy używają tego słowa z absolutną precyzją od stuleci.

W nauce i matematyce słowo „wymiar” oznacza możliwy kierunek ruchu. Jeśli narysujesz linię prostą, ruch wzdłuż tej linii jest ruchem w jednym wymiarze.

W świecie o jednym wymiarze wszystko istnieje jakby na nieskończenie cienkim sznurku. Ponieważ nie ma innego kierunku ruchu, naukowcy w świecie 1D nigdy nie byliby w stanie wepchnąć się do kolejki

przed innych ani zamienić się miejscami. Byliby jak koraliki w naszyjniku albo pianki marshmallow na szpikulcu, zawsze skazani na tych samych ślicznych albo słodkich sąsiadów.

Teraz narysuj drugą linię pod kątem prostym (dziewięćdziesiąt stopni) względem tamtej. Pod kątem prostym – żeby ruch wzdłuż niej był całkowicie niezależny od ruchu wzdłuż pierwszej linii. Gdyby kąt był mniejszy od prostego, ruch wzdłuż drugiej linii powodowałby również ruch wzdłuż pierwszej. Te dwie linie tworzą płaszczyznę, która pozwala poruszać się w dwóch wymiarach.

A zatem ruch wzdłuż jednej linii ma jeden wymiar, a ruch po płaskiej powierzchni wyznaczonej przez dwie linie ma dwa wymiary. Na razie opisaliśmy świat 1D (sznurek) i świat 2D (płaszczyznę). By uzyskać trzeci wymiar, wystarczy narysować kolejną linię, która będzie skierowana prostopadle do pierwszych dwóch. W tym wypadku będzie to kierunek w górę i w dół względem płaskiej powierzchni.

Właśnie na tym polega wymiar: każdy wymiar jest odrębnym kierunkiem, w którym można się poruszać tam i z powrotem tak, że ruch w jednym kierunku jest niezależny od ruchu w pozostałych kierunkach.

Czy to możliwe, żeby istniały więcej niż trzy wymiary?

Po narysowaniu tych trzech wymiarów mamy ujęty cały ruch, jaki znamy: góra–dół, lewo–prawo i przód–tył. W naszym świecie 3D nie ma miejsca, żeby zmieścić jeszcze jedną, czwartą prostopadłą linię, więc nasz świat wydaje się zdecydowanie trójwymiarowy, prawda? Ale fizycy nie znaleźli wystarczającego powodu, dla którego nie miałyby istnieć więcej niż trzy wymiary przestrzeni. A w matematyce cztery wymiary byłyby równie uzasadnione co siedem albo 2035.

Być może w tym momencie pomyślisz sobie: Ale zaraz, gdyby były więcej niż trzy wymiary przestrzeni, przecież bym to wiedział!

Czy aby na pewno? Czy wiedzielibyśmy to, gdyby było więcej wymiarów? Takie pytanie możemy sobie stawiać całkiem poważnie. Co by było na przykład, gdyby świat fizyczny miał więcej wymiarów, ale nasz umysł nie byłby w stanie ich dostrzec? Chociaż twój umysł jest święcie

przekonany, że są tylko trzy wymiary przestrzeni, równie dobrze możemy nie dostrzegać, że w rzeczywistości jest ich więcej.

Wyobraź sobie, że jesteś dwuwymiarowym fizykiem żyjącym na płaskiej powierzchni, uwięzionym na niej w ten sam sposób, w jaki wszystkie słowa i rysunki na tej kartce są uwięzione na płaszczyźnie papieru. Twoja świadomość i percepcja byłyby ograniczone tylko do tego, co znajduje się na płaszczyźnie (nie mógłbyś „widzieć” niczego poza tą kartką), więc nie byłbyś w stanie stwierdzić, czy w rzeczywistości twój płaski świat tkwi wewnątrz świata trójwymiarowego. W ten sam sposób świat 3D, który znamy i kochamy, mógłby równie dobrze tkwić wewnątrz przestrzeni o większej liczbie wymiarów. Przez cały ten czas fizycy w świecie 4D (lub 5D albo 6D) mogliby patrzeć na nas i podśmiewać się z naszej ograniczonej perspektywy, tak samo jak my moglibyśmy się wyśmiewać z mrówek uwięzionych w mrowisku.

Ale dlaczego nie mielibyśmy być w stanie widzieć tych innych wymiarów czy o nich wiedzieć? Pozornie wydaje się to dziwne (i niesprawiedliwe), ale zastanów się przez chwilę, jak działa twoja percepcja. Nasze mózgi tworzą sobie trójwymiarowy model świata, ponieważ okazało się to przydatne do przetrwania na Ziemi. To nie znaczy,

że jesteśmy w stanie objąć swoją percepcją pełną naturę naszego otoczenia. Przeciwnie: jesteśmy skandalicznie ślepi na te cechy naszego wszechświata, które są być może nieistotne z punktu widzenia przetrwania z dnia na dzień, ale są decydujące dla rozumienia fundamentalnej natury rzeczywistości.

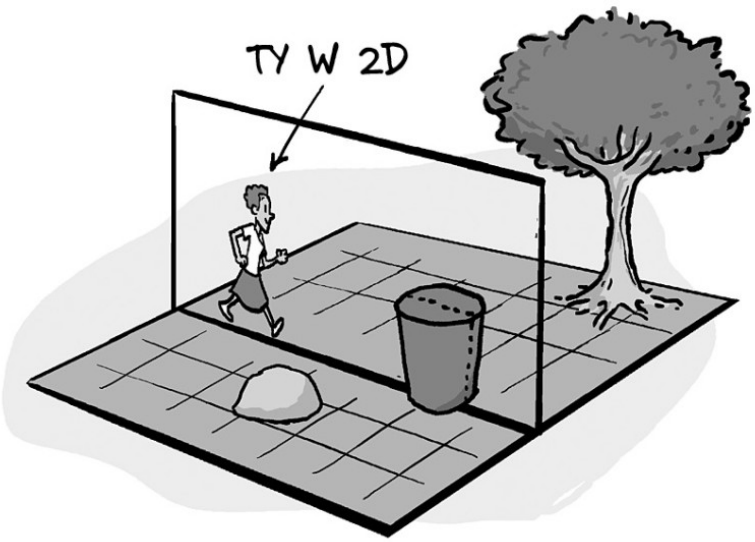
Na przykład: masz dużą wrażliwość na światło, ponieważ tą drogą dociera do ciebie mnóstwo informacji o miejscach przebywania drapieżników i pianek marshmallow. Ale nie potrafisz wyczuć ani zauważyć obecności ciemnej materii, która cię otacza i zawiera w sobie ważne wskazówki na temat funkcjonowania wszechświata. Kolejny przykład: nie czujesz tego, że co sekundę przez każdy centymetr kwadratowy twojej skóry przenika 10^{11} neutrin, chociaż gdybyś potrafił je wykrywać, mógłbyś się wiele dowiedzieć na temat Słońca i oddziaływań między cząstkami.

Codziennie pławimy się w nadmiarze informacji, które są nieocenione dla współczesnego fizyka, ale nasze ciała nie potrafią ich w sposób bezpośredni i naturalny przyswajać. Dzieje się tak dlatego, że tego rodzaju wiedzę bardzo trudno zgromadzić, albo też dlatego, że nie była ona przydatna do przetrwania na usianej piankami marshmallow sawannie naszej ewolucyjnej przeszłości.

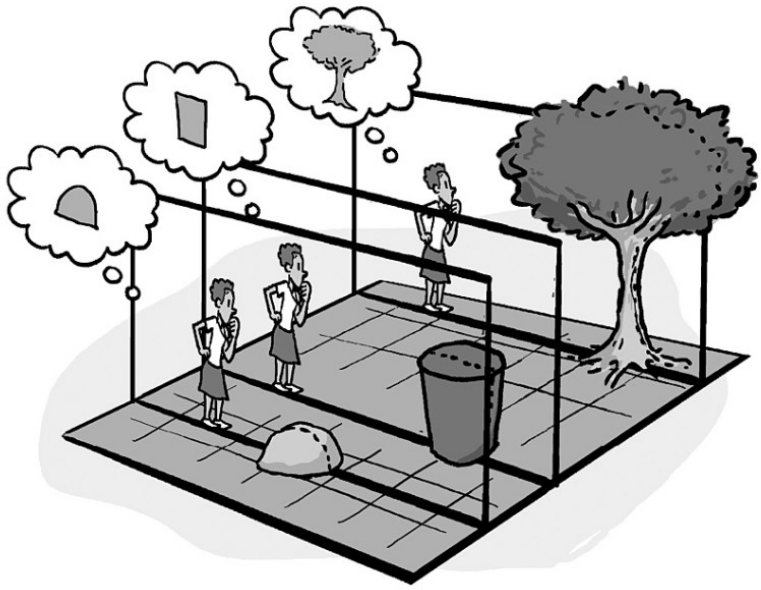
A więc odpowiedź na pytanie: „Czy mogą istnieć więcej niż trzy wymiary?”, brzmi: „tak”. Pod względem matematycznym nie ma żadnego powodu, dla którego miałyby być tylko trzy. Możliwe, że taki kolejny wymiar istnieje, mimo że go nie dostrzegamy, szczególnie jeśli nie przypomina żadnego ze znanych nam trzech – ale na ten temat powiemy więcej za chwilę.

Jak myśleć w czterech wymiarach

Jak by to było poruszać się w jakimś dodatkowym wymiarze, podobnym do naszych trzech ulubionych? Nam, ludziom 3D, trudno to sobie wyobrazić. Pomoże nam w tym zejście o poziom niżej w liczbie wymiarów: spróbujmy przez chwilę udawać, że tak naprawdę jesteśmy ludźmi 2D, którzy nagle odkrywają, że poruszają się w świecie 3D.

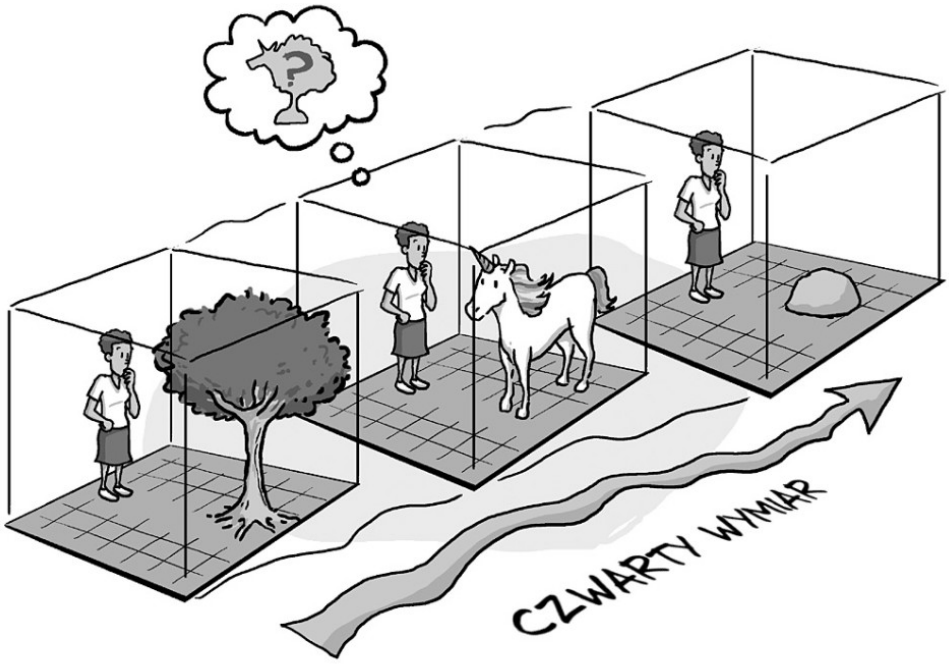


Gdybyś był człowiekiem 2D w świecie 3D, twoje ciało 2D wciąż byłoby w stanie myśleć i postrzegać jedynie w dwuwymiarowych „plasterkach” czy też płaszczyznach wewnątrz tego świata 3D. Taka byłaby granica twojego doświadczania świata. Ale gdybyś zyskał moc poruszania się w innym wymiarze, tym trzecim, stałbyś się zdolny do przemieszczania się między różnymi plasterkami w tym świecie 3D. Twoje zmysły 2D i ukształtowana przez umysł wizja świata nie pozwalałyby ci odczuć twojego ruchu w tym nowym kierunku, ale gdyby w każdym plasterku rzeczy wyglądały inaczej, to dostrzegłbyś, że twój plasterkowy świat 2D zmienia się wokół ciebie. A gdybyś potrafił znaleźć w swoim dwuwymiarowym umyśle miejsce na trójwymiarowe pojęcie przestrzeni (nie doświadczając przy tym zbyt silnych dwuwymiarowych bólów głowy), to mógłbyś posklejać wszystkie te plasterki ze sobą i wyrobić sobie pełny obraz świata 3D, który tak nagle by ci się powiększył.



A teraz wykorzystaj ten pomysł i przenieś go na naszą sytuację. Gdyby świat faktycznie miał czwarty wymiar przestrzenny i jakoś zdobylibyśmy moc przemieszczania się w nim, mógłbyś zaobserwować, jak świat zmienia się w tym kierunku ruchu. Poruszając się w tym czwartym wymiarze, mógłbyś zobaczyć, że twój świat 3D zmienia się wokół ciebie. Gdyby twojemu mózgowi nie zabrakło mocy obliczeniowej i wyobraźni, mógłbyś połączyć całość tych informacji w jeden holistyczny model 4D.

W pewnym sensie już poniekąd to robisz. Jeśli traktujesz czas jako czwarty wymiar ruchu, to masz bardzo podobną sytuację. Trójwymiarowy świat wokół ciebie zmienia się z upływem czasu, a ty w swoim mózgu sklejasz ze sobą poszczególne plasterki czasu i tworzysz czterowymiarowy (trzy wymiary przestrzenne + jeden wymiar czasu) obraz świata. Nie możesz postrzegać wszystkich czterech wymiarów jednocześnie, ale układasz sobie migawki 3D na osi czasu.



Gdzie one są?

Słusznie możesz zapytać: jeśli jest jakiś czwarty wymiar przestrzenny (inny niż czas), dlaczego jakoś go nie widzimy?

A więc przede wszystkim wiemy, że najwyraźniej było to z gruntu nieistotne i bezużyteczne dla naszego przetrwania, byśmy mogli teraz wyjaśnić, dlaczego nie potrafimy się poruszać w tym wymiarze ani nawet tego ruchu postrzegać. Wiemy też, że gdyby był to wymiar liniowy, tak jak pozostałe (zwykłe) wymiary, zapewne już byśmy go dostrzegli. Mimo że nasza percepcja ogranicza się tylko do trzech wymiarów, zauważylibyśmy, że coś się pojawia i znika, gdyby w tym dodatkowym wymiarze zbliżało się do nas lub od nas oddalało.

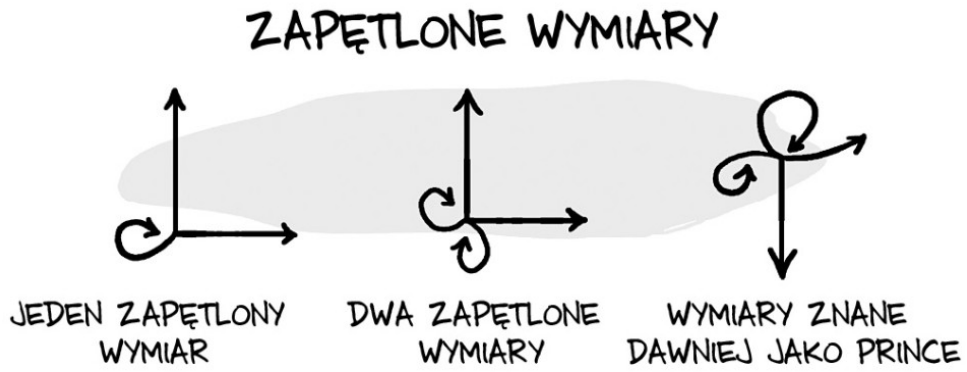
Możemy zatem stwierdzić z całkiem dużą dozą pewności, że nie ma czwartego przestrzennego wymiaru, który byłby taki sam jak pozostałe trzy. Jeśli jest czwarty wymiar, musi być pod jakimś względem na tyle

przebiegły, że trudno nam go dostrzec. Jedną z możliwości jest to, że wszystkie znane nam oddziaływania i cząstki materii po prostu nie potrafią się poruszać w tych dodatkowych wymiarach przestrzeni. Zapobiegałoby to wpadaniu różnych obiektów w czwarty wymiar, chroniłoby też energię przed rozpraszaniem się (za pośrednictwem nośników oddziaływań, na przykład fotonów) w te dodatkowe wymiary. Czy te nieprzeniknione dla nas wymiary mogą istnieć? Tak, ale gdyby naprawdę były nieprzeniknione dla każdej znanej cząstki, wówczas mielibyśmy niewielkie szanse na ich odkrycie i zbadanie.

Inna możliwość jest taka, że w te dodatkowe wymiary może przeniknąć tylko kilka wybranych cząstek, raczej tych rzadszych i trudniejszych do badania, co sprawia, że trudniej je zauważyć. A na dodatek te wymiary mogą się skrywać przed naszym wzrokiem, ponieważ są tak odmienne.

Jak odmienne? Wyobraź sobie, że te dodatkowe wymiary są w rzeczywistości zakrzywione i tworzą niewielkie kółka czy też pętle. Znaczy to, że ruch w tych wymiarach nie zaprowadzi nigdzie daleko. Bo faktycznie: w zapętlonym wymiarze kończysz zawsze z powrotem w tym samym miejscu, z którego wyruszyłeś.

Jeśli pomysł z zakrzywionym wymiarem, który przybiera postać pętli, wydaje ci się dziwny i absurdalny, to wiedz, że nie tobie pierwszemu – głowią się nad tym nawet najbystrzejsi spośród nas, fizyków. W rzeczywistości istnieje nawet taka możliwość, że wszystkie przestrzenne wymiary są tak naprawdę pętlami. W wypadku naszych znanych trzech wymiarów te pętle musiałyby być bardzo, bardzo duże – większe niż rozmiar obserwowanego wszechświata (szczegółowo mówiliśmy o tej możliwości, kiedy zajmowaliśmy się przestrzenią).



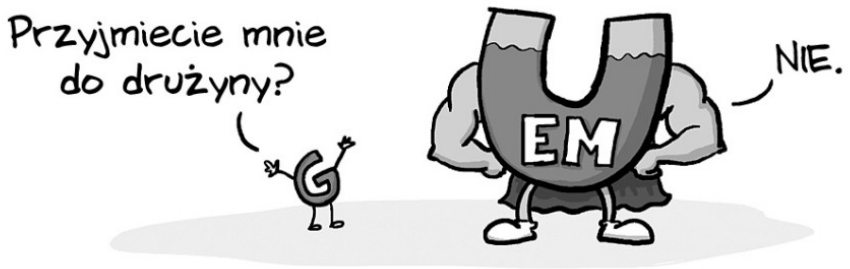
Gdyby te dodatkowe wymiary były niewielkie i zapętlone oraz gdyby mogło się w nich poruszać tylko kilka wybranych cząstek, wyjaśniałoby to, dlaczego ich nie zauważamy. To, co przemieszczałoby się w tych małych zapętlonych wymiarach, nie zmieniałoby się za bardzo w trzech wymiarach, które potrafimy dostrzec. Istnieją jednak pewne sposoby, jak takich obiektów szukać – piszemy o tym w dalszej części tego rozdziału.

Czy te dodatkowe wymiary istnieją? Czy faktycznie znajdujemy się we wszechświecie, w którym jest więcej wymiarów przestrzeni niż trzy? Najkrócej mówiąc, nie mamy pojęcia. Ale istnieją naprawdę dobre i mające uzasadnienie w fizyce powody, dla których wszechświat mógłby mieć więcej niż trzy wymiary przestrzenne. A co jeszcze bardziej fascynujące, możemy mieć sposoby, by je odkryć. Czytaj dalej, a dowiesz się, jak możemy wyjaśnić tę kwestię i po raz kolejny zaskoczyć tych zadufanych w sobie czterowymiarowych fizyków, którzy uważają, że nigdy nic nam się nie uda.

Czy to będzie rozwiązanie innych tajemnic?

Jednym z najważniejszych powodów, dla których fizycy uważają, że mogą istnieć inne wymiary, jest to, że ich istnienie pomogłoby odpowiedzieć na inne poważne pytania na temat wszechświata. A mianowicie dodatkowe wymiary mogłyby wyjaśnić, dlaczego grawitacja jest taka słaba.

Jeśli porównamy oddziaływanie grawitacyjne z pozostałymi oddziaływaniami, okaże się, że grawitacja nie jest po prostu trochę słaba; jest nieprawdopodobnie słaba. Pozostałe oddziaływania (oddziaływanie słabe, oddziaływanie silne i elektromagnetyzm) różnią się między sobą, ale w porównaniu z grawitacją wszystkie są muskularnymi kulturystami i superbohaterami; grawitacja to przy nich Myszka Miki. Fizycy naprawdę nie lubią, kiedy pojawia się aż taka niezgodność. Owszem, bez ustanku nie zgadzają się między sobą w różnych kwestiach, ale w prawach fizyki spodziewają się harmonii. Dlatego jedno z wielu pytań wiążących się z grawitacją brzmi: czy ta niezwykła słabość jest wskazówką, że chodzi o coś innego?



Dlaczego grawitacja jest aż tak dużo słabsza od elektromagnetyzmu i wszystkich pozostałych oddziaływań? Właśnie dodatkowe wymiary mogłyby to wyjaśniać. Większość oddziaływań słabnie wraz ze zwiększającą się odległością. Ale szybkość słabnięcia siły oddziaływania wraz z odległością bardzo wyraźnie zależy właśnie od liczby istniejących wymiarów przestrzennych. Im więcej wymiarów, tym bardziej oddziaływanie może się w różnych wymiarach osłabiać.

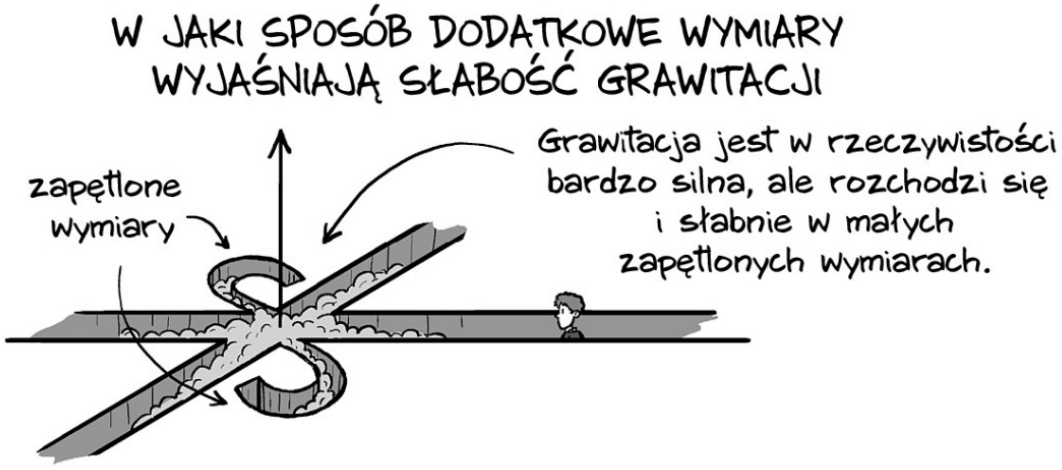
Pomyśl, co się dzieje, gdy ktoś puści bąka na imprezie. Jeśli jesteś bardzo blisko źródła, wyraźnie czujesz, że śmierdzi. Ale kiedy odejdziesz dalej od sprawcy, „smrodeczki” (tzn. smrodu cząsteczki) rozchodzą się w powietrzu i brzydki zapach słabnie.

A teraz zobaczmy, co się stanie, jeśli tego strasznego bąka ktoś puści w wąskim korytarzu: wszyscy tam się znajdujący będą go czuć mocno[1]. Jeśli jednak puścić bąka w miejscu, gdzie przecina się kilka korytarzy, smród rozejdzie się w różne strony i uwięzieni tam nieszczęśnicy nie poczują go tak silnie. Tempo rozrzedzania się zależy od tego, jak szybko wzrasta objętość powietrza, a wzrasta ona szybciej, jeśli jest więcej korytarzy.

Coś podobnego dzieje się z oddziaływaniami (tyle że bez smrodu). Załóżmy, że oprócz trzech naszych istnieją dwa dodatkowe wymiary przestrzenne. Wówczas oddziaływanie, jakiego doznajesz od jakiegoś obiektu (czy to będzie grawitacja czy elektromagnetyzm), rozchodziłoby się w tych dodatkowych wymiarach oprócz tego, że rozchodzi się w naszych zwykłych trzech. Skutkiem tego siła oddziaływania zmniejszałaby się szybciej wraz z oddalaniem się przez ciebie od jej źródła, niż oczekiwałbyś tego, gdyby istniały tylko trzy wymiary.

Musimy tu zrobić jedno zastrzeżenie: te dodatkowe wymiary muszą być zapętlone i niewielkie, mniejsze niż mniej więcej centymetr, aby dało się wyjaśnić, dlaczego dotychczas jeszcze ich nie dostrzegliśmy. A grawitacja musi być jedynym oddziaływaniem, na które wpływają te dodatkowe wymiary, co oznacza, że pozostałe oddziaływania owych wymiarów nie doświadczają.

Co zatem by się stało, gdyby istniały dwa dodatkowe pętlowe wymiary o rozmiarach centymetra i w tych wymiarach mogłaby oddziaływać tylko grawitacja, a nie inne oddziaływania? Dla obiektów położonych od siebie w odległości mniejszej niż centymetr oddziaływanie grawitacyjne rozchodziłoby się w tych dodatkowych wymiarach i jego siła bardzo szybko by malała. Dla obiektów położonych w odległości od siebie większej niż centymetr dodatkowe wymiary nie odgrywałyby żadnej roli. To by wyjaśniało, dlaczego grawitacji doświadczamy jako tak znikomego oddziaływania: w rzeczywistości jest ono równie silne jak pozostałe oddziaływania na małe dystanse, ale przy odległości większej niż centymetr z siły grawitacji pozostaje już tylko to, co nie zdążyło się rozproszyć w innych wymiarach.



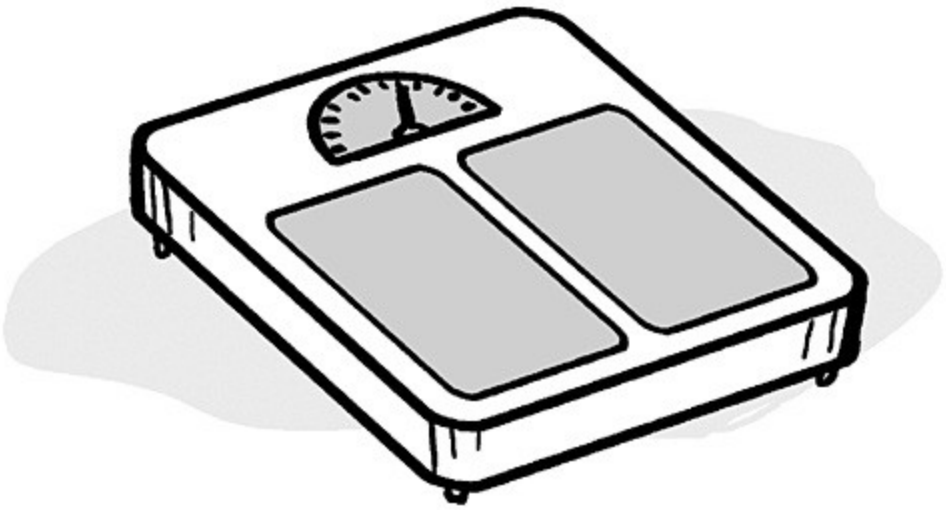
Czy grawitacja naprawdę rozrzedza się jak bąk w korytarzu? Nie wiemy tego na pewno. Możliwość istnienia dodatkowych wymiarów oraz ich rola w słabnięciu grawitacji to wciąż rozważania bardzo teoretyczne. Co jednak niesamowite, dysponujemy sposobami poszukiwania tych dodatkowych wymiarów.

Szukanie nowych wymiarów

Pomysł, że mogą istnieć dodatkowe wymiary, brzmi świetnie, ponieważ ich istnienie stanowiłoby bardzo proste i geometryczne wyjaśnienie, dlaczego grawitacja jest słabsza niż pozostałe oddziaływania. Pewnie mógłbyś sobie pomyśleć, że nic prostszego, tylko sprawdzić, czy tak jest: wystarczy zmierzyć grawitację przy małych odległościach i jeśli siła grawitacji byłaby większa, niż można by się spodziewać, oznaczałoby to, że te małe zakręcone wymiary istnieją.

Niestety to nie takie proste. Mierzenie grawitacji może wydawać się łatwe (w końcu mierzysz ją za każdym razem, gdy wchodzisz na wagę), ale to tylko dlatego, że zwykle mierzymy ją w dużych odległościach. Kiedy wchodzisz na wagę, mierzysz siłę grawitacji oddziałującą między tobą i całą planetą Ziemią, a jedno z was jest ogromne.

Sprawdzanie grawitacji na małych odległościach to jednak całkiem inna para kaloszy. By sprawdzić siłę grawitacji między dwoma obiektami oddalonymi od siebie o centymetr, musisz ustawić ich środki w odległości centymetra, co znaczy, że same obiekty muszą być bardzo małe, a więc nie mogą mieć wielkiej masy.



ULUBIONY GRAWITOMETR KAŻDEGO ZIEMIANINA

A jeśli masa każdego z obiektów jest mała, to oddziaływanie grawitacyjne będzie tak maleńkie, że prawie niemożliwe do zmierzenia (pamiętaj, że grawitacja jest słaba). Na przykład jeśli weźmiesz dwie kulki wykonane z ołowiu i umieścisz jedną w odległości centymetra od drugiej, siła grawitacji, jaką będą wzajemnie na siebie oddziaływały, będzie mniejsza niż ciężar pyłka kurzu.

Ale musisz coś wiedzieć o fizykach: jeśli mówisz, że coś jest „prawie niemożliwe”, to ich tylko rozjusza. Dodaj do tego możliwość, że taki pomiar mógłby dowieść istnienia dodatkowych wymiarów, a zaraz zobaczysz całą zgraję bystrzaków wykrzykujących jeden przez drugiego, że właśnie wymyślili taki albo inny fantastyczny przyrząd pomiarowy.

W ciągu ostatnich kilku lat fizycy naprawdę przyłożyli się do roboty i udało im się zmierzyć zmianę siły grawitacji w odległości rzędu milimetra. Ustalili, że przynajmniej aż do tej odległości siła grawitacji

nadal zachowuje się dokładnie tak samo jak w większej skali. To nie znaczy, że dodatkowe wymiary nie istnieją. Znaczy to tylko tyle, że jeśli istnieją, to są mniejsze niż milimetr.

Musisz wiedzieć o fizykach coś jeszcze (jest wiele dziwnych faktów na ich temat; to tylko dwa z nich): dopóki nie przeprowadzisz rzeczywistego pomiaru, który potwierdzi lub wykluczy jakieś zjawisko, teoretycy ciągle mogą radośnie spekulować, na czym ono polega. Fizyka może twierdzić, że coś jest prawdą, wyłącznie w takim zakresie, na jaki pozwala największa możliwa dokładność naszych eksperymentów. Dlatego na tym etapie możemy powiedzieć z całą pewnością jedynie tyle, że gdyby istniały dodatkowe wymiary, które mogłyby mieć dla nas znaczenie, musiałyby charakteryzować się rozmiarem mniejszym niż milimetr.

Poróbmy wybuchy

W rzeczywistości mierzenie grawitacji nie jest jedynym sposobem szukania dodatkowych wymiarów. Okazuje się, że możemy ich również poszukiwać przy użyciu zderzaczy cząstek. Zgadza się, te warte dziesiątki miliardów

dolarów dwudziestosiedmiokilometrowe maszyny nadają się nie tylko do znajdowania bozonów nazywanych na cześć Petera Higgsa.

Jak możemy użyć zderzaczy cząstek do wykrycia dodatkowych wymiarów? No więc wyobraź sobie, że masz przed sobą maleńką cząstkę, na przykład elektron. Możesz ją trzymać na otwartej dłoni. Ta cząstka nie tylko znajduje się w naszych znajomych trzech wymiarach przestrzeni, ale też może w tym samym czasie przemieszczać się w innych, dodatkowych wymiarach. Pamiętaj, że te inne wymiary są pętlami, więc będzie ci się wydawało, że twoja nie zmienia położenia w naszych wymiarach, ale mimo wszystko będzie się przemieszczać. Jaki skutek miałby ten dodatkowy ruch dla naszej percepcji tej cząstki?

A zatem: skoro cząstka porusza się w dodatkowych wymiarach, znaczy to, że ma w tych innych wymiarach pęd, a w związku z tym – dodatkową energię. Ponieważ jednak cząstka nie przemieszcza się w naszych wymiarach, powinniśmy doświadczać tej dodatkowej energii jako dodatkowej masy (pamiętaj, że według Einsteina masa i energia są tym samym). Innymi słowy, zauważyłbyś, gdyby cząstka poruszała się w dodatkowych wymiarach, ponieważ byłaby cięższa niż cząstka, która by się w nich nie poruszała.

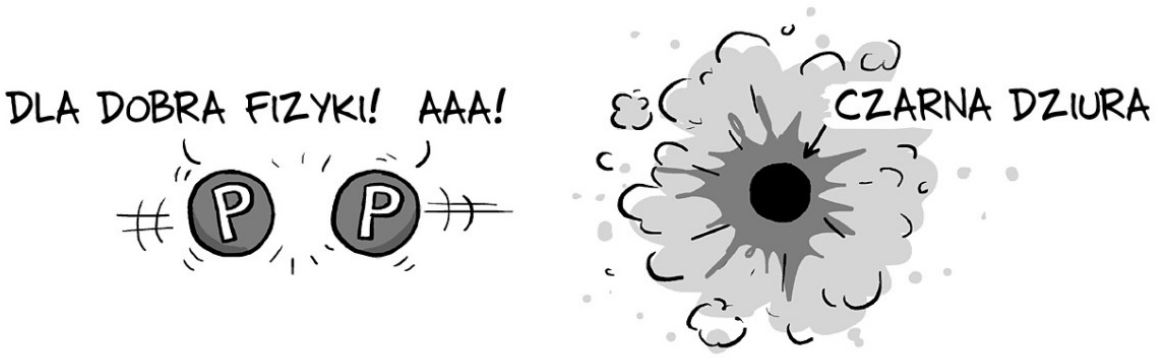
W ten właśnie sposób możemy wykorzystać zderzacze cząstek do wykrywania dodatkowych wymiarów. Gdy będziemy zderzać cząstki ze sobą i pewnego dnia dostrzeżemy cząstkę, która wygląda na przykład dokładnie jak elektron (będzie miała ten sam ładunek, ten sam spin itd.), tyle że jest dużo cięższa, słusznie będziemy mogli przypuszczać, że w rzeczywistości jest to elektron, tyle że poruszający się również w innych wymiarach.

W rzeczywistości gdyby dodatkowe wymiary faktycznie istniały, słusznie moglibyśmy się spodziewać, że napotkamy kopie wszystkich cząstek, które znamy, tyle że cięższe z powodu swego ruchu w dodatkowych wymiarach. Ta teoria przewiduje, że znaleźlibyśmy „wieże” (zwane wieżami Kaluzy-Kleina) identycznych[2] cząstek o coraz większej masie, która rosłaby w regularnych odstępach[3]. Gdybyśmy znaleźli taki ciąg coraz cięższych cząstek, byłby to niezbity dowód potwierdzający istnienie dodatkowych wymiarów.

Co jeszcze przewidują dodatkowe wymiary?

Istnienie dodatkowych wymiarów, nawet małych i zapętlonych, miałoby też jeszcze inne interesujące konsekwencje. Jeśli fizycy mają rację, że słabość grawitacji można wyjaśnić jej rozchodzeniem się w innych wymiarach, znaczy to, że grawitacja przy małych odległościach jest równie silna co pozostałe oddziaływania. Być może grawitacja wcale nie jest cherlakiem, lecz raczej supersilnym superbohaterem przebranym za cherlaka.

A to z kolei oznacza, że wytworzenie czarnej dziury może być łatwiejsze, niż dotychczas sądziliśmy!



Do wytworzenia czarnej dziury potrzeba olbrzymiej ilości masy i energii zgromadzonych w małej przestrzeni. Cząstki, szczególnie obdarzone tym samym ładunkiem elektrycznym (na przykład protony), nie lubią być tak blisko siebie. Zbliżenie wystarczającej ich liczby na wystarczająco niewielką odległość, by osiągnęły krytyczną gęstość konieczną do utworzenia czarnej dziury, wymaga jakiegoś kataklizmu (na przykład zapadnięcia się gwiazdy). Jeśli jednak grawitacja faktycznie jest supersilna na małych odległościach, to ta dodatkowa wartość jej siły mogłaby być wystarczająco duża, by pomóc protonom wytworzyć czarną dziurę w prostszych sytuacjach, na przykład kiedy roztrzaskujesz jeden proton o drugi w zderzaczu cząstek w Genewie.

A więc – tak: Wielki Zderzacz Hadronów w Genewie (Large Hadron Collider, LHC) mógłby wytwarzać czarne dziury. Jeśli skala dodatkowych wymiarów wynosi mniej więcej milimetr, LHC mógłby tworzyć jedną czarną dziurę na sekundę.

Czy jednak nie powinniśmy się bać? Czy te czarne dziury nie urosną i nie pochłoną Ziemi wraz ze wszystkimi naszymi piankami marshmallow? Spokojnie, odpowiedź brzmi: nie. A jeśli masz wątpliwości, możesz sprawdzić, czy świat nie został jeszcze zniszczony, na prawdziwej stronie internetowej[4]. Jej twórcy obiecują, że będzie zawsze aktualizowana na bieżąco.

DODATKOWA FUNKCJA TEJ KSIĄŻKI:
DETEKTOR CZARNYCH DZIUR

Na szczęście dla ciągłości naszego istnienia małe czarne dziury, które ewentualnie mógłby wytwarzać LHC, różnią się od potężnych kosmicznych czarnych dziur powstałych z zapadających się gwiazd. To milusie czarne dziurki, które raczej bardzo szybko wyparują, niż pochłoną Szwajcarię wraz z resztą naszej planety. Dodatkowym powodem, byś nie musiał się niepokoić, jest to, że cząstki bardzo wysokoenergetyczne bombardowały Ziemię i uderzały jedne w drugie przez całe wieki, więc gdyby zderzanie cząstek miało wytwarzać czarne dziury, które by połykały planety, stałoby się to już wcześniej i wcale by nas tu nie było.

Teoria strun

Fizycy poszukują sposobów, w jakie można opisać wszystkie oddziaływania podstawowe (grawitację, oddziaływanie silne, oddziaływanie słabe i elektromagnetyzm) jako część jednej wyczerpującej teorii, w której wszystko zgadza się ze sobą i nie ma już pytań bez odpowiedzi. Niezależnie od tego, czy to możliwe, jest to szczytny cel, a fizycy osiągnęli znaczący postęp, mimo że ludzkość wcale nie znalazła się bliżej ostatecznej odpowiedzi.

Przy okazji jednak pojawiło się kilku zabawnych kandydatów do miana teorii wszystkiego. Jednym z nich jest teoria strun, która sugeruje, że budulcem wszechświata nie są zerowymiarowe punktowe cząstki, lecz maleńkie jednowymiarowe struny – nie maleńkie jak minipianki marshmallow, ale maleńkie jak 10^{-35} część metra. Ta teoria utrzymuje, że owe struny mogą wibrować na mnóstwo sposobów, a każdy tryb wibracji odpowiada innej cząstce. Kiedy obserwujesz te struny z wystarczająco dużej odległości (dysponując rozdzielczością zaledwie 10^{-20} metra), wyglądają one jak cząstki punktowe, ponieważ w tych warunkach nie widać ich prawdziwego strunowego charakteru.

Jedną z zalet tej teorii jest to, że opisująca ją matematyka jest dużo prostsza i bardziej naturalna, jeśli się przyjmie dodatkowe wymiary przestrzenne. Istnieją różne odmiany teorii strun, a każda przewiduje inną liczbę wymiarów naszego wszechświata. Teoria superstrun opowiada się za wszechświatem, który ma dziesięć wymiarów przestrzennych. Teoria strun

bozonowych woli wszechświat z dwudziestoma sześcioma wymiarami. Gdzie są te dwadzieścia trzy dodatkowe wymiary i jak to możliwe, że ich nie zauważyliśmy? To tak, jakby w twojej rodzinie były dotychczas tylko cztery osoby, a tu nagle odkrywasz dwadzieścioro dwoje dodatkowego rodzeństwa, które chowało się w szafie.

Podobnie jak teoria, która wyjaśnia słabą siłę grawitacji, teorie strun starają się być spójne z naszym doświadczeniem, postulując, by te nowe wymiary były zwinięte w sobie i tworzyły raczej okręgi, a nie były nieskończenie długimi wymiarami.

Co zrobić z tymi nowymi kierunkami

Poznawanie struktury fundamentalnej geometrii wszechświata wydaje się zupełnie podstawowym elementem rozumienia otaczającego nas świata. Nie da się z niczym porównać satysfakcji płynącej z odkrycia jakiejś nieoczekiwanej prawdy o wszechświecie i przekonania się, że świat, w którym żyjemy, jest różny od tego, w którym wydawało nam się, że żyjemy. Nie chciałbyś wiedzieć, czy istnieje coś więcej w przestrzeni niż to, co widzisz i czego doświadczasz w codziennym życiu?

Ale odnalezienie dodatkowych wymiarów może mieć także praktyczne konsekwencje. Możemy odkryć, że te dodatkowe wymiary się do czegoś nadają. Gdyby dało się w nich magazynować energię albo dotrzeć w nich do takich obszarów przestrzeni, do których normalnie nie mamy dostępu, to kto wie, czego moglibyśmy dzięki nim dokonać. Co więcej, odkrycie dodatkowych wymiarów mogłoby dać nam wskazówki pomocne w rozwiązaniu zagadki budowy i funkcjonowania wszechświata (tzn. pozostałych 95 procent całego wszechświata). Nawet odkrycie, że te wymiary nie istnieją, miałoby duże znaczenie. Moglibyśmy wtedy zapytać, dlaczego mamy akurat trzy wymiary (a nie cztery albo trzydzieści siedem, albo milion). Cóż takiego wyjątkowego jest w trzech wymiarach?

Jak dotąd eksperymenty mierzące grawitację na krótkich odległościach nie przyniosły żadnych nieoczekiwanych wyników, a w LHC nie odkryto żadnych czarnych dziur ani cząstek poruszających się w innych wymiarach. Innymi słowy, nie mamy dowodu, że ten oparty na teorii strun obraz świata jest poprawny ani że grawitacja oddziałuje w dodatkowych wymiarach. Jak dotąd naprawdę nie mamy pojęcia, ile wymiarów przestrzennych jest w naszym wszechświecie.

Co dziwniejsze, możliwe, że wszechświat ma różną wymiarowość w różnych obszarach – może nasz mały skrawek przestrzeni jest

trójwymiarowy, ale inne skrawki wszechświata mają cztery albo pięć kierunków przestrzennych.

Ale jedno jest jasne: wszechświat wciąż kryje mnóstwo tajemnic, które czekają na odkrycie. Musimy tylko ich poszukać we właściwym kierunku.

---

[1] W jednowymiarowym świecie nie ma gdzie uciec od bąka.

[2] Identycznych jeśli chodzi o wszystkie własności poza – rzecz jasna – masą (przyp. red.).

[3] Miony i taony nie są odmianami elektronów w dodatkowych wymiarach, ponieważ ich masa nie zachowuje regularnych odstępów i nie podlegają one tym samym oddziaływaniom słabym co elektrony.

[4] hasthelargehadroncolliderdestroyedtheworldyet.com (lub bit.ly/czywielkizderzaczhadronowzniszczyljuzswiat)

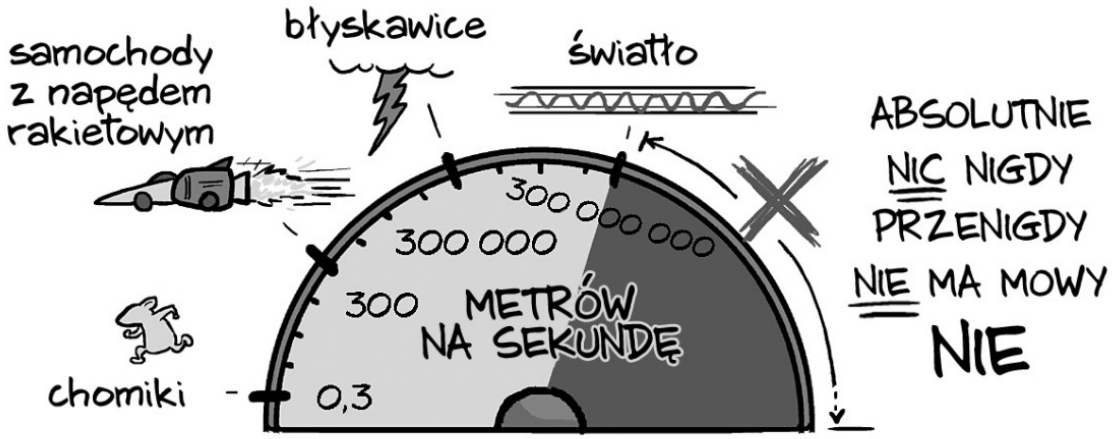
10

Czy możemy poruszać się szybciej niż światło?

Nie.

No dobrze, być może dałoby się to jakoś rozwinąć.
W fizyce jest wiele kwestii, co do których brakuje nam pewności, ale nie ma najmniejszych wątpliwości co do tego, że we wszechświecie nic (ani światło, ani statki kosmiczne, ani chomiki) nie może poruszać się w przestrzeni szybciej, niż wynosi prędkość światła w próżni: 300 milionów metrów na sekundę[1].

Pokażmy to w innej perspektywie: chomiki biegają z prędkością mniej więcej pół metra na sekundę (gdy bardzo się spieszą). Najszybszy sprinter świata przebiega w ciągu sekundy mniej więcej 10 metrów. Najwyższa prędkość osiągnięta przez człowieka w pojeździe lądowym wynosi 340 metrów na sekundę, a prom kosmiczny porusza się na orbicie z prędkością mniej więcej 8000 metrów na sekundę, osiągając jakieś 0,0025 procent prędkości światła. W codziennym życiu na pewno nawet nie zbliżysz się do tego ograniczenia prędkości, ale mimo to obowiązuje ono jako zasada nie do złamania – nieustanne przypomnienie, że nawet w tym dziwnym i cudownym wszechświecie istnieją ograniczenia.



Nie ma najmniejszych wątpliwości, że to ograniczenie prędkości jest prawdziwe. Opisujący ją dział fizyki – teoria względności – został

wielokrotnie i bardzo dokładnie eksperymentalnie zweryfikowany. Jest to podstawowa zasada wpleciona w strukturę współczesnych teorii fizycznych. Gdyby to ograniczenie prędkości nie było faktem, w zasadzie na pewno zdążylibyśmy to już zauważyć. Bez względu na to, co robisz, co wiesz czy kim jesteś, nie możesz poruszać się szybciej niż 300 milionów metrów na sekundę.

Ta maksymalna prędkość jest dziwną cechą naszego wszechświata. Jak zobaczymy, prowadzi ona do najrozmaitszych dziwacznych konsekwencji: uniemożliwia na przykład różnym częściom wszechświata wzajemne oddziaływanie, ale także sprawia, że uczciwi skądinąd ludzie wdają się w kłótnie co do kolejności wydarzeń.

I chociaż ograniczenie to zdążyło się już tak głęboko wpisać we współczesną fizykę, wciąż otaczają je pewne podstawowe tajemnice, które zastanawiają fizyków. Na przykład: dlaczego w ogóle istnieje jakaś maksymalna prędkość? Dlaczego to ograniczenie prędkości wynosi 300 milionów metrów na sekundę, a nie 300 bilionów albo 3 metry na sekundę? Czy ta granica mogłaby się zmienić? Więc teraz lepiej zapnij pasy, bo za chwilę przelecimy z pełną prędkością przez jedną z największych tajemnic wszechświata.

Ograniczenie prędkości we wszechświecie

Kiedy Einstein przedstawił pomysł, że we wszechświecie istnieje maksymalna prędkość, nie było to za bardzo zgodne z intuicją. W końcu dlaczego miałoby istnieć jakieś ograniczenie prędkości we wszechświecie? Dlaczego nie moglibyśmy wskoczyć do rakiety, odpalić silników, docisnąć pedału gazu do podłogi i nieustannie przyspieszać, aż zaczęlibyśmy mknąć wśród galaktyk z przyprawiającą o zawrót głowy prędkością? Jeśli przestrzeń jest pusta, cóż właściwie może zabronić ci pędzić tak szybko, jak tylko chcesz?

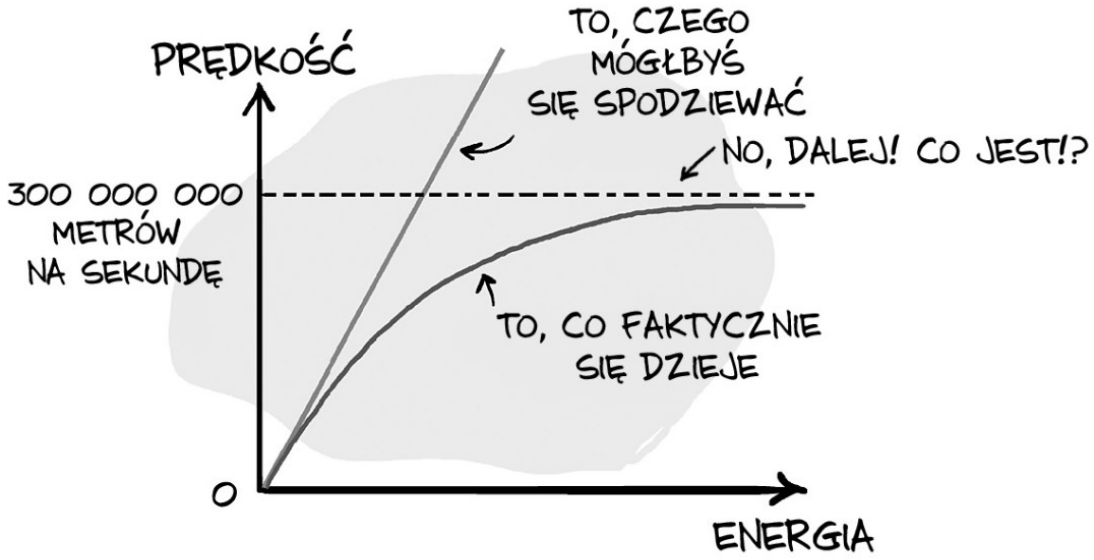
To właśnie ta intuicja, że przestrzeń jest pusta i że możemy przyspieszać w nieskończoność, rodzi problemy. Jak być może pamiętasz z rozdziału 7, przestrzeń nie jest pustą sceną, po której możesz swobodnie śmigać. Przeciwnie: wiemy, że przestrzeń jest czymś materialnym, podatnym na wyginanie się, rozciąganie i marszczenie, więc mogłaby poczuć się naprawdę urażona, gdybyś gnał po niej z nieodpowiedzialną prędkością. W rzeczywistości właśnie dzięki temu, że fizycy dowiedzieli się

o ograniczeniu prędkości we wszechświecie, dostali pierwszą wskazówkę, że przestrzeń jest czymś więcej niż pustką.

Co zatem wiemy o tym ograniczeniu prędkości? Przede wszystkim nie ma nic wspólnego z jakąkolwiek blokadą ruchu. Jeśli spróbujesz lecieć szybciej niż prędkość światła, nie uderzysz w jakąś twardą ścianę, która ni stąd, ni zowąd przed tobą wyskoczy, ani nie zatrzyma cię policja galaktyczna. Silnik nagle nie wybuchnie. Twój szkocki inżynier (którego niezbyt miło nazywasz Scotty) nie zacznie się na ciebie wydzierać, że nie wie, czy wasz statek jeszcze pociągnie czy nie.

Gdybyś wsiadł do statku kosmicznego i docisnął gaz do dechy, oto co by się stało: przede wszystkim zajęłoby ci to naprawdę dużo czasu, by zbliżyć się do prędkości światła. Nawet gdybyś osiągnął przyspieszenie rzędu 10g (dziesięciokrotnie większe od przyspieszenia ziemskiego, czyli jakieś 100 m/s^2), co jest maksymalną wartością przeciążenia, jakie mogą przez krótki czas wytrzymać najlepsi piloci myśliwców, całe miesiące trwałoby, zanim dotarłbyś do wartości choćby zbliżonej do 300 milionów metrów na sekundę. A przez cały ten czas byłbyś wciśnięty w fotel – nie mógłbyś nawet podrapać się w nos ani choćby pójść do toalety. Niezbyt przyjemny sposób podróżowania.

I mimo długiego czasu przyspieszania wcale nie leciałbyś szybciej niż z prędkością światła. I to zasadniczo wszystko. Nie zdarzyłoby się nic spektakularnego; po prostu nigdy byś tej prędkości nie przekroczył. Leciałbyś coraz szybciej, ale w pewnym momencie zauważyłbyś, że coraz trudniej zwiększa się prędkość. Bez względu na to, jak mocno i jak długo naciskałbyś pedał gazu oraz (albo) jak bardzo zawzięty miałbyś wyraz twarzy, nigdy nie osiągnąłbyś ani nie przekroczył 300 milionów metrów na sekundę. Poniżej przedstawiamy wykres dla osób z zacięciem matematycznym.



Pokazuje on, że bez względu na to, ile energii dostarczysz do układu silnikowego, twoja prędkość będzie rosła coraz wolniej, a zatem nigdy nie osiągniesz prędkości światła. To trochę jak z próbami powrotu do tej smukłej sylwetki, którą się cieszyłeś, mając dwadzieścia parę lat: pochłaniają niewiarygodne ilości czasu i energii, a i tak nigdy nie uda ci się do tego stanu powrócić.

To naprawdę dziwaczne, że we wszechświecie istnieje ograniczenie prędkości. Zastanów się: znaczy to, że kiedy próbujesz poruszać się szybciej, coś ci to uniemożliwia, nawet jeśli nie jesteś poddany żadnym innym oddziaływaniom. Jest to ograniczenie asymptotyczne, wpisane w samą strukturę przestrzeni i czasu. W rzeczywistości ma ono zastosowanie w każdej chwili, kiedy idziesz korytarzem albo jedziesz samochodem (mamy nadzieję, że podczas jazdy słuchasz audiobooka, a nie czytasz). Być może, patrząc na nasz wykres, zwróciłeś uwagę na to, że wpływ ograniczający prędkość istnieje również przy niższych jej wartościach. Przy małych prędkościach nie jest tak oczywisty, może być wręcz nieistotny, ale jest. Oznacza to, że teoria względności nie jest czymś, co włącza się dopiero wówczas, gdy zbliżasz się do prędkości światła. Ona obowiązuje zawsze, zaburza twój ruch, na wszelki wypadek zakrzywiając wykres jego prędkości, żebyś nigdy nie zechciał lecieć szybciej niż światło. Uważasz, że umiesz rzucać za trzy punkty? Lepiej przyłóż się trochę bardziej do ćwiczenia koszykówki, bo sama przestrzeń działa tak, że będziesz robił airballe.

Ograniczenie prędkości we wszechświecie to nie tylko górna granica czy też nieprzekraczalny pułap. Jest to zniekształcenie sposobu manifestowania się prędkości w przestrzeni zupełnie sprzeczne z naszą intuicją – dziwna cecha przestrzeni i czasu, niepozwalająca rozpędzać się w nieskończoność.

I co z tego?

W tym momencie możesz sobie pomyśleć: „No i dobrze, więc nie możemy poruszać się szybciej niż światło. I co z tego? W najbliższym czasie i tak nie zamierzałem jeździć dużo szybciej niż sto na godzinę (no dobra, może raczej sto czterdzieści)”.

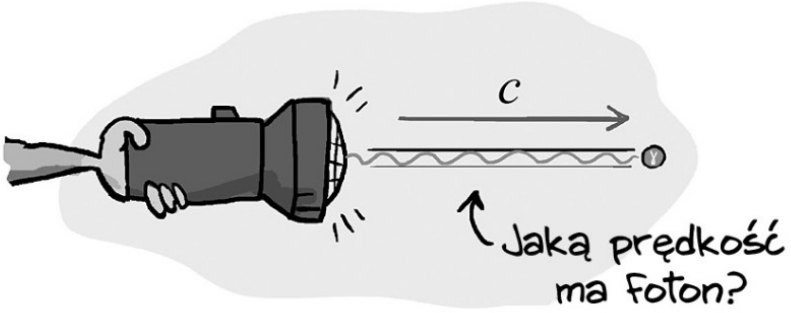
Zgadza się. Ograniczenie prędkości we wszechświecie do 300 milionów metrów na sekundę rzeczywiście pewnie nie wpływa na twoje codzienne życie. Ma jednak poważne konsekwencje dla naszej wizji wszechświata. Musimy bowiem porzucić wyobrażenie, zgodnie z którym czas (a nawet chronologia wydarzeń) jest wszędzie i dla wszystkich taki sam.

Każdy rozsądny człowiek może liczyć, że wydarzenia następują jedne po drugich i że wobec oczywistych dowodów zazwyczaj wszyscy będziemy potrafili się zgodzić, co i kiedy się wydarzyło. Ale w tym wszechświecie, w którym się urodziłeś, tak nie jest. Dla różnych ludzi kolejność wydarzeń może być zupełnie inna, a wszystko to z powodu istniejącego ograniczenia prędkości.

Aby pojąć, jak to możliwe, że ograniczenie prędkości we wszechświecie prowadzi do takich dziwacznych rzeczy w przestrzeni i do kłopotów z koordynowaniem wydarzeń, wyobraźmy sobie bardzo często spotykaną sytuację: załóżmy, że dajesz chomikowi latarkę. Albo – wiesz co? – zaszalejemy: daj chomikowi dwie latarki.

A teraz załóżmy, że chomik kieruje te latarki w przeciwne strony, po czym równocześnie obie je włącza. Zadajmy bardzo proste pytanie: Jak szybko poruszają się fotony z latarek?

Łatwizna, nie? Prawidłowa odpowiedź to *c*, czyli prędkość światła (światło składa się z fotonów, pamiętasz?). Wszystkie fotony rozchodzą się w każdym kierunku z prędkością światła *c*. Właśnie to ustaliłby twój chomik, gdyby zmierzył, jak szybko te fotony poruszają się względem podłoża (zakładamy oczywiście, że ma co najmniej magisterium z fizyki doświadczalnej).



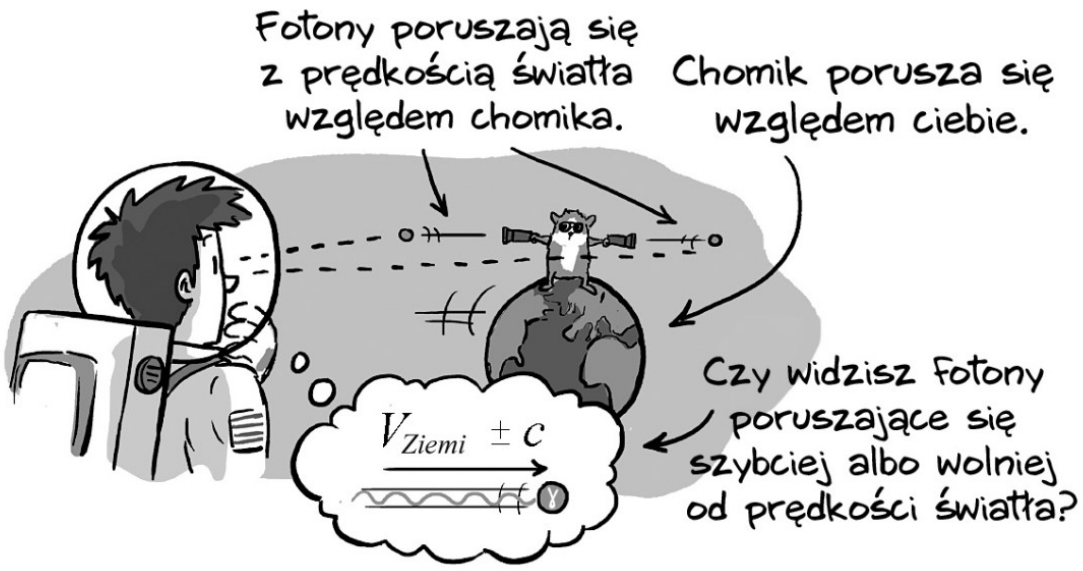
Wszystko jasne, zgadza się? Na razie nikt nie protestuje. Wszyscy się zgodzimy, że gdy włączymy latarkę (przy założeniu, że świeci), to światło będzie miało prędkość światła (stąd jej nazwa).

A teraz przypomnij sobie, że twój chomik stoi w rzeczywistości na gigantycznej skalistej kuli zwanej Ziemią, która pędzi w kosmicznej

przestrzeni. Następnie zrób naprawdę duży krok wstecz i wyobraź sobie, że jesteś gdzieś w tej w przestrzeni, unosisz się w niej w skafandrze kosmicznym i patrzysz, jak mija cię lecąca w prawo Ziemia, a na niej – twój ukochany chomik z dwoma działkami fotonowymi (zwanymi latarkami).

A więc patrzysz na lecącą w prawo Ziemię, która mija cię z prędkością V_{Ziemi}. Zapytajmy więc: z jaką prędkością poruszają się te dwa fotony, gdy je obserwujesz, czytelniku astronauto?

Jeśli fotony poruszają się z prędkością światła względem Berthy (tak ma na imię twój chomik, bo nawiasem mówiąc, to chomiczyca), a ty patrzysz, jak Bertha mija ciebie, to intuicja podpowiada ci pewnie, żeby dodać te dwie prędkości. A więc możesz uznać, że foton po prawej miałby prędkość $c + V_{Ziemi}$, a foton po lewej miałby prędkość wynoszącą $c - V_{Ziemi}$. Ale jeśli c jest równe prędkości światła, czy znaczy to, że będziesz widział jeden foton poruszający się szybciej od światła, a drugi foton poruszający się wolniej od światła?

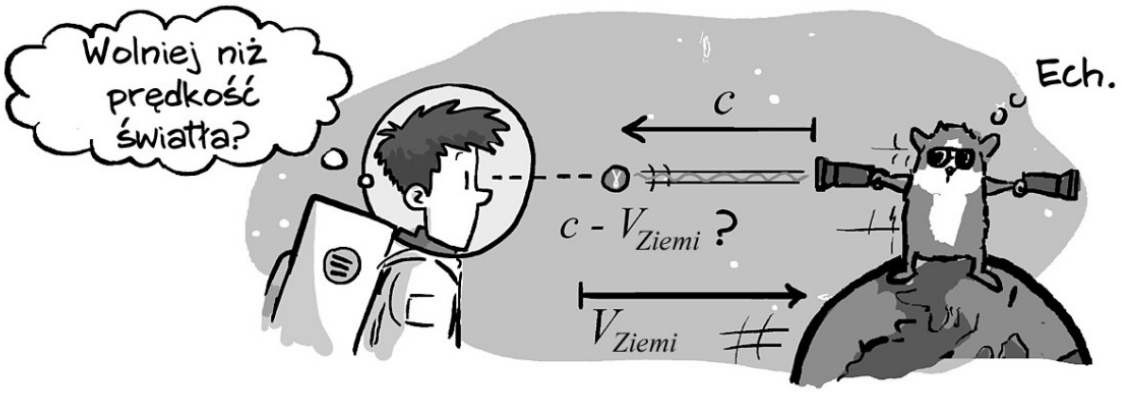


Nie! To niemożliwe, prawda? Nic, nawet światło, nie może poruszać się szybciej, niż wynosi prędkość światła (stąd jej nazwa)! A więc co się tak naprawdę dzieje?

Najpierw pomyśl o fotonie, który porusza się w tym samym kierunku co Ziemia (czyli w prawo). To ten foton, o którym intuicja podpowiada ci, że powinien poruszać się szybciej niż z prędkością światła. Ale z powodu ograniczenia prędkości w rzeczywistości widzisz, że ten foton oddala się z prędkością równą dokładnie prędkości światła (względem ciebie). A to jest dziwne, ponieważ jest to również prędkość, z jaką Bertha widzi, że ten foton porusza się względem niej. Chociaż ty i chomik poruszacie się z różną prędkością, oboje widzicie foton poruszający się z tą samą prędkością względem każdego z was.

Jak to możliwe, by nie kwestionowało to zasad logiki i rozumu? Tak naprawdę kwestionuje to jedynie nasze przewidywania, że każdy musi widzieć wszystko w ten sam sposób. Nie sposób zaprzeczyć, że z tego powodu wszechświat wydaje nam się dziwaczny – pełen zjawisk sprzecznych z intuicją.

Równie dziwaczne jest to, co dzieje się z fotonem poruszającym się w lewo. Naiwnie mógłbyś się spodziewać, że foton ten będzie poruszał się wolniej niż z prędkością światła ($c - V_{Ziemi}$), ponieważ jest wysyłany z Ziemi, która porusza się w prawo. Ale inna dziwaczna własność cząstek pozbawionych masy (na przykład fotonów) w próżni polega na tym, że zawsze poruszają się z maksymalną dopuszczalną we wszechświecie prędkością. Nigdy nie zwalniają[2].



Światło zatem zawsze porusza się z prędkością światła, bez względu na to, kto ją mierzy i jak szybko sam się przemieszcza. Znaczy to, że unosząc się w kosmosie i patrząc, jak mija cię Ziemia, zobaczysz te dwa fotony poruszające się względem ciebie z prędkością dokładnie równą prędkości światła, a doktor Bertha na Ziemi zobaczy te dwa fotony poruszające się z prędkością światła względem niej.

To jeden z fantastycznych aspektów ograniczenia prędkości we wszechświecie: stosuje się do względnych prędkości obiektów, a nie do prędkości absolutnych.

Dzieje się tak dlatego, że w tym wszechświecie nie ma czegoś takiego jak prędkość absolutna. Może myślałeś sobie, że unosząc się tak w przestrzeni kosmicznej, jesteś kimś wyjątkowym, bo możesz występować

jako autorytatywne źródło informacji o prędkości różnych poruszających się rzeczy, ale w rzeczywistości ty sam i Ziemia poruszacie się także względem czegoś innego (na przykład Słońca albo centrum galaktyki, albo centrum gromady galaktyk, w której tkwimy). Nawet gdyby było jakieś centrum wszechświata (a nie ma), kto wie, jaka byłaby twoja rzeczywista prędkość względem niego. A zatem prędkości absolutne nie mają sensu.

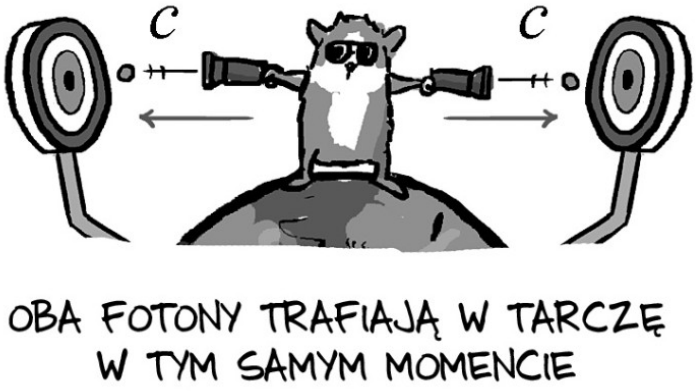
Ograniczenie prędkości we wszechświecie głosi, że nie da się zobaczyć niczego, co porusza się szybciej niż z prędkością światła. To jeden z dziwacznych aspektów tego ograniczenia, w związku z którym wszystko zaczyna się robić jeszcze dziwniejsze.

Wszystko robi się jeszcze dziwniejsze

No dobrze, zatem ty i twój chomik widzicie, że światło z latarek porusza się z tą samą prędkością, chociaż chomik oddala się od ciebie. To całkiem dziwne, ale będzie jeszcze gorzej.

Załóżmy, że po obu stronach chomika ustawiamy tarcze, i zadajmy sobie pytanie: w którą tarczę fotony z latarek trafią wcześniej?

Jeśli zapytasz Berthę, która widzi, że fotony poruszają się z tą samą prędkością w obu kierunkach, powie, że fotony trafią w obie tarcze w tym samym momencie, ponieważ obie tarcze są w tej samej odległości od niej.

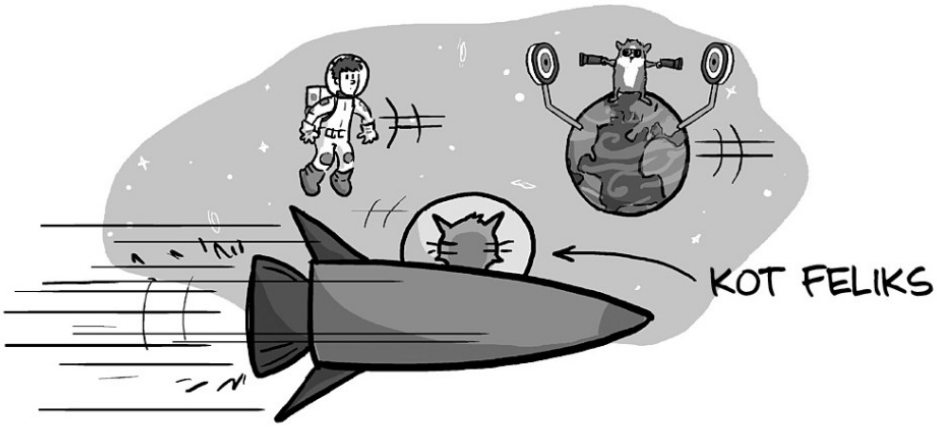


Ale TY widzisz co innego.

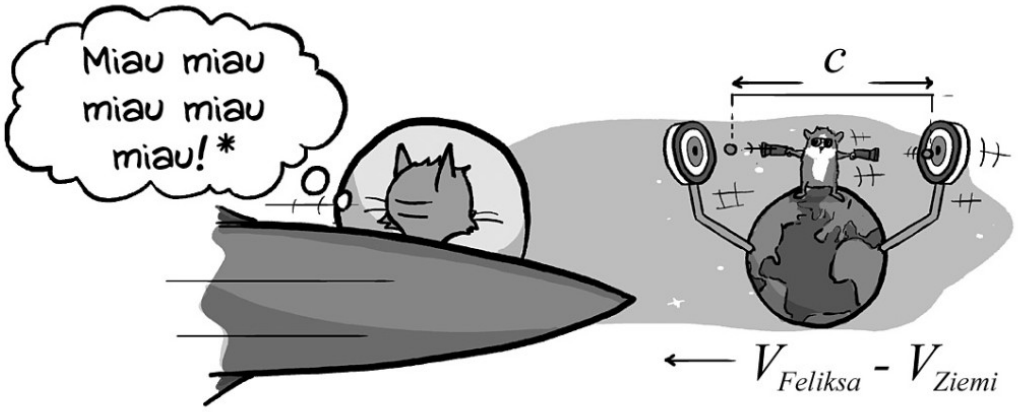
Ty widzisz, że dwa fotony wylatują – każdy ze swojej latarki – z prędkością światła (względem ciebie), ale widzisz też, że Bertha (wraz z tarczami) się porusza. A zatem w trakcie pokonywania przez fotony drogi do tarcz zobaczysz, że jedna tarcza przybliży się do fotonów, podczas gdy druga oddali się od nich. Skutkiem tego zobaczysz, że jeden foton (ten po lewej) trafi w swoją tarczę wcześniej, niż drugi foton dotrze do drugiej tarczy.

Innymi słowy, oboje widzicie różną kolejność wydarzeń! Bertha widzi, że światło dociera do obu tarcz w tym samym czasie, ty natomiast widzisz, że światło dociera do jednej tarczy wcześniej. A teraz to, co jest w tym dziwne: oboje macie rację!

A zrobi się jeszcze dziwniej, jeśli zwierzątek będzie więcej![3] Załóżmy, że dokładnie w chwili, gdy odkrywasz dziwaczność wszechświata wraz ze swoim chomikiem, twój kot (nazwijmy go Feliks) wraca właśnie statkiem kosmicznym (USS Kocimiętka) do domu. Leci w tym samym kierunku, w którym Ziemia porusza się względem ciebie (w prawo), ale aktualnie przemieszcza się szybciej niż Ziemia. Kiedy więc Feliks wygląda przez okno swojego statku, widzi, że Bertha i Ziemia przemieszczają się w lewo względem jego statku.



Feliks również widzi, że wystrzeliwane przez Berthę fotony poruszają się z prędkością światła, bo tego wymaga ograniczenie prędkości we wszechświecie. Ponieważ jednak twój kot widzi, że Bertha przemieszcza się w lewo, Feliks zamelduje, że prawy foton pierwszy trafi w tarczę!

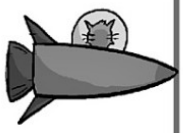


*ŚWIATŁO TRAFIA NAJPIERW W PRAWĄ TARCZĘ!

Teraz mamy trzy sprzeczne doniesienia: Bertha widzi, że światło trafia w obie tarcze naraz; ty widzisz, że jedna z tarcz zostaje trafiona pierwsza; a Feliks, który jest pewnie zaskoczony, że latasz w kosmosie i robisz doświadczenia fizyczne, widzi, że pierwsza zostaje trafiona ta druga tarcza (jakkolwiek poplątane logicznie się to wydaje). I wszyscy macie rację!

Nie tylko musimy zaakceptować, że we wszechświecie istnieje największa możliwa prędkość, ale też musimy zrezygnować z wyobrażenia, że wydarzenia następują dla każdego i wszędzie w tym samym czasie. Nie możemy też już nawet wyznawać bardzo rozsądnie brzmiącej idei, że istnieje jeden zgodny opis tego, co dzieje się w naszym wszechświecie. Wszystko zależy od tego, które zwierzątko spytać!

PODSUMOWANIE EKSPERYMENTU „CHOMIK Z DWIEMA LATARKAMI”

Obserwator	Czynność	Obserwacja
Ty	Relaks w kosmosie	Foton po lewej pierwszy trafia w tarczę
Chomiczyca dr Bertha	Zastanawianie się, czy nie marnuje swojego doktoratu	Oba fotony trafiają w tarcze jednocześnie
 Kosmiczny podróżnik kot Feliks	Powrót do domu, by doładować akumulatory na kłębkach włóczki	Foton po prawej pierwszy trafia w tarczę

Historia to historia

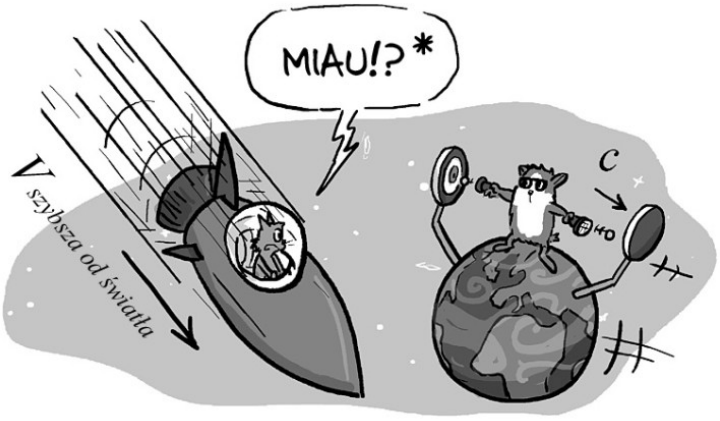
To wszystko powinno natychmiast uruchomić twój alarm ostrzegający przed wariactwem. Przede wszystkim znaczy to, że nie ma żadnego absolutnego uporządkowania, czyli historii wydarzeń we wszechświecie. Każdy rozsądny człowiek (i jego zwierzęta) może przedstawiać własny, poprawny, ale różny od innych opis tego, co się wydarzyło!

Pomyśl o tym inaczej: możesz zmieniać kolejność wydarzeń, oglądając je przy różnej prędkości. Ty, twój chomik i twój kot – wszyscy widzicie, że wydarzenia dokonują się w różnej kolejności, ponieważ poruszacie się z różną prędkością. Stoi to w silnej sprzeczności z intuicją, ponieważ na ogół wyobrażamy sobie, że wszechświat ma jedną wspólną historię: ostateczną, uporządkowaną w czasie listę wyszczególniającą, co się kiedy wydarzyło. Ale coś takiego jest właśnie niemożliwe w naszym wszechświecie. Pojęcie uniwersalnego zegara albo uniwersalnej

równoczesności musimy odłożyć do lamusa – wszystko przez to, że dla każdego obserwatora światło porusza się z prędkością światła, co z kolei wynika z ustanowienia ograniczenia maksymalnej prędkości we wszechświecie.

Rozbicie przyczynowości

Jak daleko można się posunąć w tym przetasowywaniu kolejności wydarzeń? Najszybciej poruszającym się obserwatorem, jakiego dotychczas mieliśmy, jest kot, a on widzi, że prawy foton trafia pierwszy w tarczę. A co by było, gdyby kot znajdował się na statku kosmicznym mogącym w rzeczywistości pokonać ograniczenie prędkości we wszechświecie? W miarę jak kot leciałby coraz szybciej, zacząłby widzieć, że czas od opuszczenia latarki przez foton do trafienia w tarczę staje się coraz krótszy. W pewnym momencie Feliks leciałby tak szybko, że zacząłby wręcz widzieć, jak foton trafia w tarczę przed opuszczeniem latarki!



*FOTON TRAFIA W TARCZĘ PRZED OPUSZCZENIEM LATARKI!?

Ale coś takiego nie ma sensu, bo naruszałoby przyczynowość (no wiesz, cały ten pomysł, że przyczyną skutku jest przyczyna, a nie odwrotnie). We wszechświecie, w którym nie ma przyczynowości, panuje istne szaleństwo: woda gotuje się, zanim włączysz palnik pod garnkiem, pies czy kot zamyka cię w szafie za zaniedbanie, którego jeszcze nie zdążyłeś się dopuścić. W takim zwariowanym wszechświecie trudno zrozumieć, co się dzieje, a tworzenie sensownych praw fizyki może okazać się niewykonalne.

Nawiasem mówiąc, stąd właśnie wiemy, że ograniczenie prędkości we wszechświecie jest, niestety, powszechnie obowiązujące. W 1887 roku dwaj naukowcy o nazwiskach Michelson i Morley przeprowadzili eksperyment nieco podobny do naszej hipotetycznej sytuacji z chomikiem (aczkolwiek bez chomika). Rozdzielili wiązkę światła tak, że rozchodziła się w dwóch prostopadłych kierunkach. Następnie dokonali pomiaru, który miał wykazać, czy powstałym w ten sposób dwóm wiązkom tyle samo czasu zajmie odbicie się od lustra i powrót do punktu wyjścia. Podobnie jak chomiczyca Bertha, przekonali się, że światło potrzebuje tyle samo czasu, poruszając się w dowolnym kierunku. A ponieważ Ziemia przemieszcza się z jakąś nieznaną prędkością względem reszty wszechświata, wyciągnęli stąd wniosek, że prędkość światła jest zawsze taka sama bez względu na to, jak szybki lub jak wolny jest twój ruch względem niego.

To upoważnia nas do stwierdzenia, że nic nie może poruszać się szybciej od światła, ponieważ w przeciwnym wypadku dochodziłoby do sytuacji rozbijających przyczynowość (na przykład Feliks widziałby, jak foton trafia w tarczę przed opuszczeniem latarki). A nawet w wypadku sprawcy niemającego wcześniej żadnych punktów karnych rozbicia przyczynowości nie uznaje się za drobne wykroczenie. Wszechświat na ogół potraktuje to bardzo poważnie.

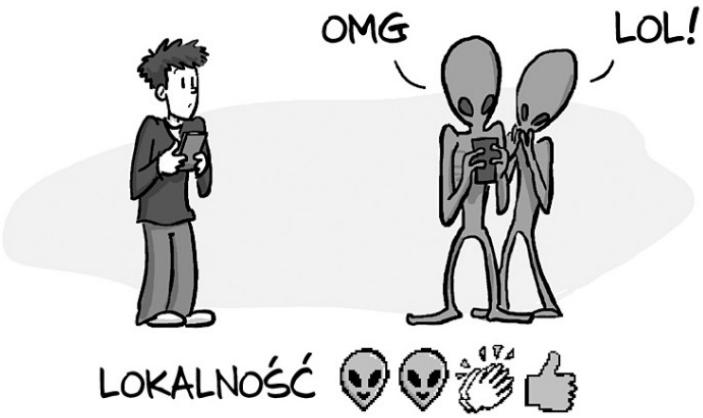
Przyczyny lokalne

Dlaczego więc istnieje maksymalna prędkość? Dlaczego wszechświat miałby zwracać uwagę na to, jak szybko poruszają się nasze koty i chomiki? Czemu właściwie mogłoby to służyć?

Czy da się wyprowadzić to ograniczenie prędkości z jakichś pierwszych zasad albo w jakikolwiek sposób je zrozumieć? Najkrócej mówiąc, nie ma twardego i niepodważalnego powodu, dla którego w naszym wszechświecie obowiązuje ograniczenie prędkości, jest natomiast pewne bardzo dobre usprawiedliwienie dla jego wprowadzenia. Ograniczenie prędkości jest pomocne, jeśli chcemy, by nasz wszechświat cechowała lokalność i przyczynowość.

O przyczynowości już mówiliśmy i wydaje się ona sensownym wymogiem. Przez lokalność rozumiemy to, że zbiór rzeczy, które mogą na ciebie wpływać, jest ograniczony do zbioru rzeczy znajdujących się w twoim pobliżu. Gdyby we wszechświecie nie obowiązywało ograniczenie prędkości, wówczas to, co wydarza się gdziekolwiek, mogłoby mieć

natychmiastowy wpływ na Ziemię. W takim wszechświecie agencje wywiadowcze kosmitów teoretycznie mogłyby odczytywać w czasie rzeczywistym wiadomości tekstowe (a nawet snapy!), które wysyłasz do znajomych, a naukowcy w świecie kosmitów mogliby opracować narzędzia, które byłyby w stanie natychmiast zabić każdego człowieka na Ziemi. Jest jednak inaczej, bo obowiązuje zasada ograniczająca maksymalną prędkość przemieszczania się i dotyczy ona wszystkiego (światła, oddziaływania, grawitacji, selfie, śmiercionośnych promieni wysyłanych przez kosmitów), a to znaczy, że tylko to, co znajduje się w twoim lokalnym otoczeniu, może wchodzić z tobą w związki przyczynowe.



Jeśli chcemy wszechświata, w którym nie będziemy narażeni na natychmiastowy atak broni masowego rażenia skonstruowanej przez kosmitów z jakiejś odległej galaktyki oraz w którym przestrzega się związków przyczynowo-skutkowych, musimy się pogodzić z tym, że pewne sprawy będą się nam wydawały nieco dziwne, na przykład to, że nie

wszyscy ludzie i nie wszystkie zwierzęta będą się zgadzać w kwestii kolejności pewnych wydarzeń.

Ale dlaczego taka prędkość?

Wyżej przekonywaliśmy, że ustanowienie pewnej maksymalnej prędkości ma sens we wszechświecie, który dba o przyczyny, skutki i lokalność.

Ale jak to często bywa w fizyce, znalezienie odpowiedzi na jedno pytanie prowadzi do zadawania poważniejszych i bardziej podstawowych pytań: dlaczego wszechświat przestrzega związku między przyczyną a skutkiem? Nie przypuszczamy chyba, że wszechświat został zaprojektowany w taki sposób, by akurat naszym umysłom wydawał się sensowny[4]. Dlaczego obowiązuje nas ta konkretna prędkość maksymalna, a nie inna?

Pytanie o to, dlaczego wszechświat jest przyczynowy, bardzo trudno nawet omówić, nie mówiąc już o tym, by na nie w sposób zadowalający odpowiedzieć. Przyczynowość tkwi tak głęboko w naszych schematach myślowych, że zwyczajnie nie potrafimy się z niej wyrwać i nie umiemy rozważać wszechświata jej pozbawionego. Nie potrafimy używać logiki i rozumowania do zastanawiania się nad wszechświatem pozbawionym logiki, w którym rozumowanie jest niemożliwe albo niewłaściwe. To z pewnością głęboka tajemnica, a ponieważ nauka zakłada przyczynowość i logikę, być może jest to pytanie, na które odpowiedź wykracza poza możliwości nauki. Może być ono jednym z tych pytań, których rozwiązania nigdy nie znajdziemy, albo też może być nierozerwalnie związane z drażliwymi pytaniami dotyczącymi świadomości.

Mniej trudności sprawia inne pytanie: dlaczego obowiązuje nas ta konkretnie prędkość maksymalna? Żadna z naszych teorii nie uzasadnia

wybrania tej, a nie innej wartości. Przyczynowy wszechświat z większą prędkością światła byłby mniej lokalny od naszego; przyczynowy wszechświat z niższą prędkością światła byłby hiperlokalny. Ale każdy z tych wszechświatów nadal by funkcjonował, a fizyka dopuszcza dowolną wartość prędkości światła. Zmierzyliśmy tę prędkość w swoim wszechświecie i tak się akurat okazało, że wynosi ona prawie 300 milionów metrów na sekundę: to bardzo szybko w porównaniu z naszym doświadczeniem, ale bardzo wolno w porównaniu z odległościami, które trzeba przebyć, by pokonać drogę dzielącą gwiazdy czy galaktyki.

Obecnie nie mamy pojęcia, dlaczego ograniczenie prędkości jest właśnie takie. Ale możemy pospekulować na temat różnych możliwości.

Mogłoby być tak, że jest to jedyna możliwa wartość, a prędkość światła ujawnia nam jakąś głęboką prawdę na temat natury wszechświata i czasoprzestrzeni. Jeśli na przykład czasoprzestrzeń faktycznie jest skwantowana, to może prędkość światła wynika ze sposobu, w jaki jest przekazywana informacja między sąsiednimi węzłami czasoprzestrzeni.

W wypadku struny w gitarze prędkość fali dźwiękowej wytwarzanej przez tę strunę zależy od grubości drutu oraz od jego naprężenia. Jakieś

podobne parametry mogą decydować o prędkości światła.

A może pewnego dnia opracujemy połączoną teorię czasoprzestrzeni, która unaoczni nam, dlaczego światło i informacja muszą się rozchodzić z pewną prędkością, i wszystkie pytania znajdą odpowiedzi. Póki co wydaje się to jednak równie prawdopodobne jak to, że w domu czeka na ciebie obiad przygotowany przez psa, kota, fretkę albo chomika.

Z drugiej strony jest rzeczą prawdopodobną, że wszechświat może mieć dowolną wartość prędkości światła z przedziału od zera (ale nie dokładnie zero) do nieskończoności. Prędkość zerowa odpowiadałaby wszechświatowi pozbawionemu wszelkich wzajemnych oddziaływań, a nieskończoność – wszechświatowi nielokalnemu. Jeśli wszechświat mógł mieć dowolną wartość ograniczenia prędkości, to na jakiej zasadzie wybrano tę, a nie inną? Naprawdę nie mamy pojęcia, a jeśli ktoś ci powie, że to wie, to albo jest fizykiem z przyszłości podróżującym w czasie, albo ma poważne objawy manii wielkości. Tak czy inaczej, lepiej nie proś kogoś takiego, żeby przypilnował ci psa czy kota (albo fretki czy chomika).

Może prędkość światła jest lokalnym, a nie powszechnym prawem fizyki, które obowiązuje w naszej części wszechświata z powodu stanu, w jakim czasoprzestrzeń zastygła po zakończeniu Wielkiego Wybuchu. Może w każdym regionie wszechświata prędkość światła określają przypadkowe procesy mechaniki kwantowej. Wskazywałoby to, że istnieją inne części wszechświata charakteryzujące się znaczną rozpiętością prędkości światła. Żadne z tych stwierdzeń nie spełnia nawet standardów ukończonego pomysłu, nie mówiąc o tym, by były dającymi się sprawdzić hipotezami naukowymi. Ale myśl, że mogłoby tak być, jest zabawna.

Przeszłość i przyszłość

Jeśli nie znamy powodu, dla którego prędkość światła wynosi dokładnie tyle, ile wynosi, to skąd wiemy, że nie zmieni się w przyszłości albo że nie była inna w przeszłości?

Nie możemy przenieść się w przeszłość, żeby wykonać odpowiednie eksperymenty, ale wszechświat dostarczył nam piękną galerię minionych astronomicznych wydarzeń: nocne niebo.

Pamiętaj, że gdy spoglądamy w niebo, tak naprawdę nie widzimy tego, co dzieje się tam teraz, lecz to, co działo się tam w przeszłości. Im dalej od nas położony jest jakiś obiekt, tym dłużej trwa dotarcie światła stamtąd i tym dawniejszy jego obraz oglądamy dziś. Potrafimy faktycznie spoglądać w przeszłość, obserwując obiekty położone coraz dalej od Ziemi. Astronomowie zastosowali nasze powszechnie przyjęte prawa fizyki (w tym prędkość światła) do orbit, zderzeń i eksplozji, które widzimy na

niebie – i okazało się, że nic nie wskazuje na jakiekolwiek naruszenie powszechnie obowiązującego ograniczenia prędkości.

Jeśli chodzi o przyszłość, to przewidywania są trudne. Możemy dokonywać ekstrapolacji, wnioskując na podstawie 14 miliardów lat historii; wydaje się, że z takim kapitałem można coś zwojować, ale opiera się to na milcząco przyjmowanym założeniu, że w przyszłości wszechświat będzie ciągle funkcjonował w taki sam sposób, jaki znamy z przeszłości. Jest to jedynie założenie – wiemy, że w przeszłości wszechświat zaznał wielorakich i radykalnie różnych okresów (etap przed Wielkim Wybuchem, inflacja po Wielkim Wybuchu, obecny okres rozszerzania się), wobec tego przewidywanie, że wszechświat w przyszłości się nie zmieni, trąci zbytnią pewnością siebie.

Ale może jakoś by się udało odwiedzić inne gwiazdy?

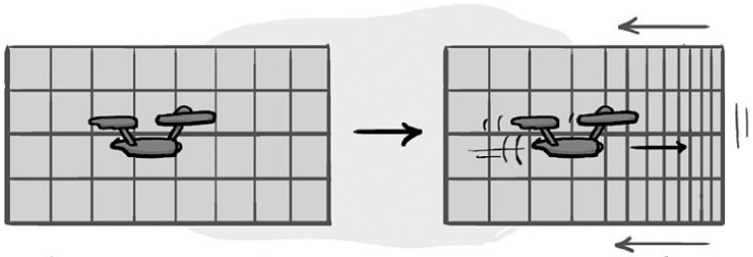
Podróżowanie z prędkością większą niż prędkość światła to intrygująca możliwość nie dlatego, że ktoś chciałby wygrać wyścig z fotonami, ale dlatego, że w ludziach tkwi fundamentalne pragnienie badania otaczającego nas wszechświata. Możliwość wylądowania na planetach zamieszkanych przez obcych, oglądanie z bliska odległych słońc, znajomość z jakimś

kosmitą i zaprzyjaźnienie się z ich zabawnymi zwierzakami – chyba nikt nie chciałby tego wszystkiego zaprzepaścić.

Tych z was, którzy już byliby gotowi wskoczyć na pokład pierwszego statku kosmicznego, by polecieć do innego układu gwiezdnego albo badać sąsiednią galaktykę, pewnie zasmuci fakt, że największa możliwa prędkość przemieszczania się po naszym wszechświecie to ledwie 300 milionów metrów na sekundę. Ledwie, bo przecież najbliższa gwiazda jest odległa o 40 000 000 000 000 000 metrów od Układu Słonecznego.

Ale może stawiamy złe pytanie. Może zamiast pytać: „Czy mogę przemieszczać się szybciej niż światło?”, lepiej zastanowić się nad czymś innym: „Czy możemy przemieścić się do odległych gwiazd w sensownym czasie?” – bo w tym wypadku odpowiedź jest bardzo intrygująca: „Być może, ale to bardzo kosztowne”.

Pamiętaj, że prędkość światła to największa dostępna dla ciebie (dla mnie, dla twojego kota i tak dalej) prędkość przemieszczania się w przestrzeni. Ale przestrzeń nie jest jakimś abstrakcyjnym tłem z siatką świecących żółtych linii. To coś dynamicznego i materialnego, co ma dziwne właściwości, w tym zdolność do rozszerzania się i kurczenia.



Ostatni fragment jest kluczowy: co by się stało, gdyby udało nam się ścisnąć samą przestrzeń dzielącą nas od jakiegoś odległego miejsca, tak by móc dostać się tam w rozsądnym czasie, nie przemieszczając się bardzo

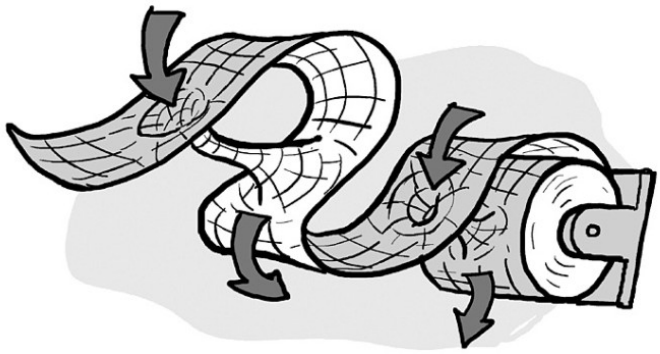
szybko w przestrzeni? Czy coś takiego dałoby się zrobić? Taki pomysł to zdecydowane „być może”. Mnóstwo jeszcze musimy zrozumieć na temat natury czasoprzestrzeni, ale wiemy, że można ją zniekształcać i kurczyć. Niestety wymaga to ogromnych ilości energii, równoważnych gazylionom chomiczych kołowrotków kręcących się tak szybko, jak tylko dobrze wypasione chomicze ciałka potrafią je napędzić. Naukowcy szacują, że napęd warp, który mógłby kompresować przestrzeń przed statkiem kosmicznym, pochłaniałby tak chore ilości energii, że daleko by się nim nie zaleciało.

No to może tunele czasoprzestrzenne?

Innym sposobem skrócenia naszych podróży bez konieczności rozwijania prędkości większych niż prędkość światła jest zastosowanie tuneli czasoprzestrzennych. W odpowiednich okolicznościach taki tunel czasoprzestrzenny mógłby połączyć dwa odległe od siebie miejsca we wszechświecie, co pozwoliłoby przemieszczać się między nimi. W popularnych opowieściach science fiction przejściu przez tunel czasoprzestrzenny towarzyszą szalone rozbłyski światła, głośne huki

i grzmoty oraz kłopotliwa niezdolność trzymania moczu[5]. W rzeczywistości nikt nie wie, jak by to było, i możliwe, że nie różniłoby się to znacząco od zwykłego przejścia przez drzwi.

Rzeczywiście, jeśli przestrzeń ma więcej wymiarów niż trzy, to jest rzeczą możliwą, że miejsca, które w trójwymiarowej przestrzeni wydają się odległe, w innych wymiarach znajdują się tak naprawdę tuż obok siebie. Wyobraź sobie, że nasz wszechświat został zwinięty w rolkę jak papier toaletowy, a przestrzeń zakręca się wokół siebie jak kolejne warstwy. Zazwyczaj myślimy, że sąsiadują z nami rzeczy znajdujące się na tym samym listku, ale równie blisko mogą przecież znajdować się także inne listki, do których można by dotrzeć przez tunele czasoprzestrzenne biegnące w poprzek warstw.



Pomysł z tunelami czasoprzestrzennymi brzmi być może jak fantazja, ale tak naprawdę nie stoi on w sprzeczności z żadnym powszechnie przyjętym prawem fizyki. Niestety wszelkie dotychczasowe wyliczenia wskazują na to, że takie tunele byłyby bardzo niestabilne: niemal natychmiast by się zapadały, co znaczy, że ledwie zdążyłbyś wypić drinka podawanego w czasie lotu, a już tunel by się zawalił.

Na dodatek nie mamy pojęcia, jak się takie tunele tworzy, więc musielibyśmy liczyć na to, że na jakiś natrafimy, i wtedy sprawdzać, dokąd prowadzi. Z równym powodzeniem można chodzić po Manhattanie z zawiązanymi oczami i potykając się, próbować wsiadać do samochodów przypadkowych obcych osób w nadziei, że akurat jadą do Los Angeles.

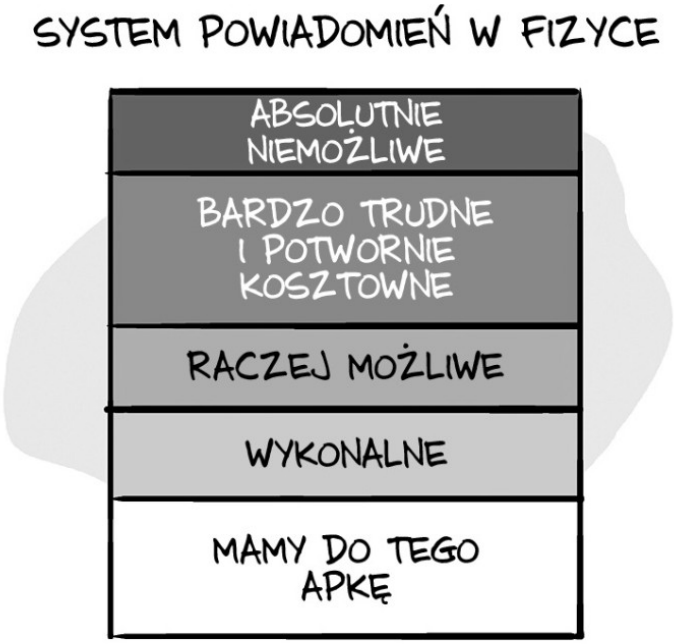
Nie trać wiary w marzenia

Odłóż na bok względy praktyczne – niemożliwe do spełnienia zapotrzebowanie na energię oraz brak technologii umożliwiających tworzenie napędów warp i tuneli czasoprzestrzennych – ponieważ te niewygodne szczegóły przeszkadzają ci w snuciu ambitnych fantazji o podróżach międzygwiezdnych. Przecież jako nasz pilny czytelnik masz do nich pełne prawo, zwłaszcza po przeczytaniu tylu akapitów, które usiłują wkładać kij między szprychy koła obracającego się z prędkością nadświetlną.

Wyzwania, jakie stawiają przed nami kompresja przestrzeni albo korzystanie z tuneli czasoprzestrzennych, są ogromnie trudne, ale nie trać ducha – fizycy przenieśli bowiem problem podróży międzygwiezdnych z poziomu „absolutnie niemożliwe” do poziomu „bardzo trudne i potwornie kosztowne”, a to już coś!

Wszelkie dalekosiężne przewidywania na temat tempa rozwoju technologii byłyby pewnie albo przypadkowo słuszne, albo żenująco naiwne, wobec tego nie będziemy się ich podejmować. Jednak dotychczasowe osiągnięcia ludzkości wskazują na to, że w przyszłości czekają nas prawdziwe techniczne cuda. A skoro żadne fundamentalne prawo fizyki nie wyklucza, by podróże międzygwiezdne stały się

rzeczywistością, wciąż istnieje nadzieja. A kiedy się to stanie? Nie mamy pojęcia.



Miony robią to bez przerwy!

Fizyka bardzo poważnie traktuje dopiski drobnym drukiem. Jeśli tylko w którymś z jej praw pojawia się jakaś niewielka luka, możesz być pewien, że gdzieś tam istnieje cząstka, która z dziką rozkoszą takie prawo lekceważy. Gdybyś przeczytał jeszcze raz zasady okiem prawnika, być może zwróciłbyś uwagę, że ograniczenie maksymalnej prędkości to prędkość światła w próżni. Dlaczego jest powiedziane: „w próżni”? Ponieważ prędkość światła zależy od tego, przez co światło przechodzi. Prędkość światła w powietrzu, w szkle, w wodzie czy choćby w rosole jest mniejsza od prędkości światła w próżni. A to dlatego, że fotony muszą

tracić czas na oddziaływania z nieznośnymi cząstkami rosołu (nazwijmy je „rosołonami”) – ich prędkość całkowita staje się wówczas mniejsza.

Jeśli więc pytasz: „Czy to możliwe, by podróżować szybciej, niż wynosi prędkość światła”, to odpowiedź brzmi: „Tak… formalnie rzecz biorąc”. Formalność polega tu na tym, że można podróżować szybciej, niż podróżuje światło w niektórych ośrodkach – jednak nadal nigdy nie będzie to szybciej niż prędkość światła w próżni. Na przykład wysokoenergetyczny mion może przenikać przez bryłę lodu szybciej, niż przez lód przenika światło. Formalnie rzecz biorąc, jest to podróżowanie „szybciej niż światło”, aczkolwiek brzmi to wszystko jak pokrętne prawnicze wywody i jest mocno niezadowalające.

Nie pomoże ci to zrealizować marzeń o skolonizowaniu jakiejś odległej planety i odbieraniu boskiej czci we własnym Układzie Słonecznym, ale przynajmniej sprzyja powstawaniu pewnych całkiem odlotowych efektów. Kiedy ślizgacz mknie po powierzchni jeziora szybciej od fal, które wywołuje na wodzie, fale te nakładają się na siebie i tworzą kilwater. Jeśli samolot leci szybciej niż propaguje się dźwięk, tworzy w powietrzu falę uderzeniową, która manifestuje się hukiem zwanym gromem dźwiękowym. A co dzieje się, gdy mion przelatuje szybciej od światła przez bryłę lodu? Wytwarza „grom świetlny”! Jest on znany również jako promieniowanie

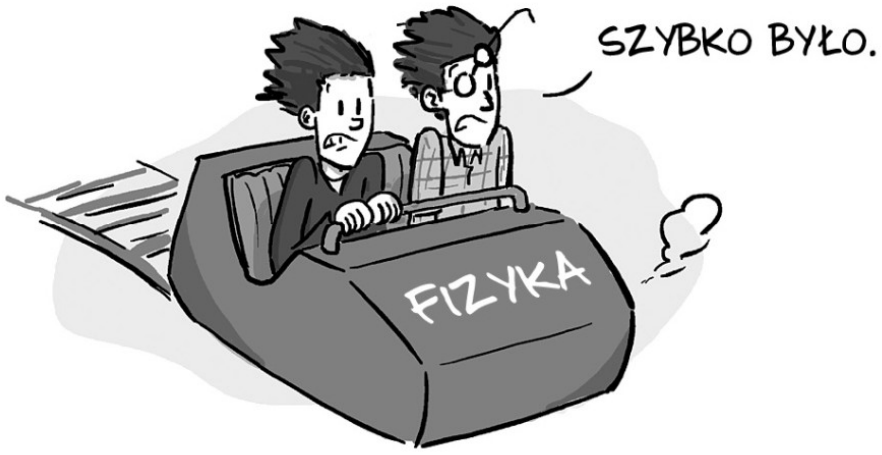
Czerenkowa, a bladoniebieskie kręgi światła, które są jego efektem, fizycy wykorzystują stale do wykrywania takich cząstek i do pomiaru ich prędkości.

Gdyby więc nagle wypełnić cały wszechświat kosmicznym rosołem (albo lodem), to – formalnie rzecz biorąc – mógłbyś podróżować przez niego szybciej niż światło, a po drodze do nowego domu wysyłać cały czas świecące niebieskie kręgi.

Podsumowanie

Czy możemy poruszać się szybciej niż z prędkością światła?

Odpowiedź: tak, ale nie, ale tak, ale nie.



---

[1] Ważne zastrzeżenie: „w przestrzeni”. Czytaj dalej.

[2] Co sprawia, że pozbawione masy cząstki (na przykład fotony) poruszają się z prędkością światła? Choć światło wydaje się dziwne, jeszcze dziwniejsze byłoby, gdyby mogło zwalniać. Gdyby pozbawiona masy cząstka mogła poruszać się z prędkością niższą

od maksymalnej, to jakiś obdarzony masą obiekt mógłby poruszać się na tyle szybko, by ją dogonić. Jak zatem by to wyglądało? Pozbawiona masy cząstka to nic innego jak energia ruchu (nie ma masy). Ale gdybyś potrafił ją dogonić i nie poruszałaby się już względem ciebie, to nie miałaby ani ruchu, ani masy, a więc byłaby niczym. Bach. Choć to dziwaczne, sensowniej jest, by światło zawsze poruszało się z maksymalną prędkością.

[3] Jest to zdanie, które zawsze pozostaje prawdziwe.

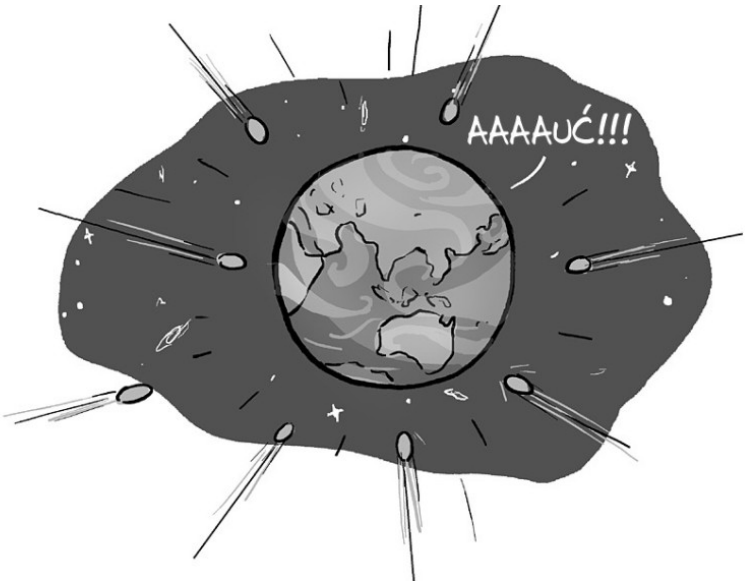
[4] Aczkolwiek mógłbyś słusznie twierdzić, że we wszechświecie, który cechuje porządek przyczyn i skutków, obdarzone rozumnością formy życia odkryją go i włączą w swój system logiki, nawet jeśli nie będą rozumiały, skąd pochodzi.

[5] To akurat zmyśliliśmy, ale skoro cała reszta tego, co się pisze na temat podróży przez tunel czasoprzestrzenny, też jest zmyślona, więc właściwie dlaczego nie?

11

Kto strzela do Ziemi superszybkimi cząstkami?

Dowiesz się teraz o maleńkich pociskach, których całe mnóstwo lata w kosmosie



Gdybyś któregoś ranka po obudzeniu stwierdził, że ktoś właśnie ostrzeliwuje twój dom z broni automatycznej, pewnie uznałbyś to za sytuację wyjątkową. Raczej nie uspokoiłbyś się, nie ubrał i nie zajął swoimi

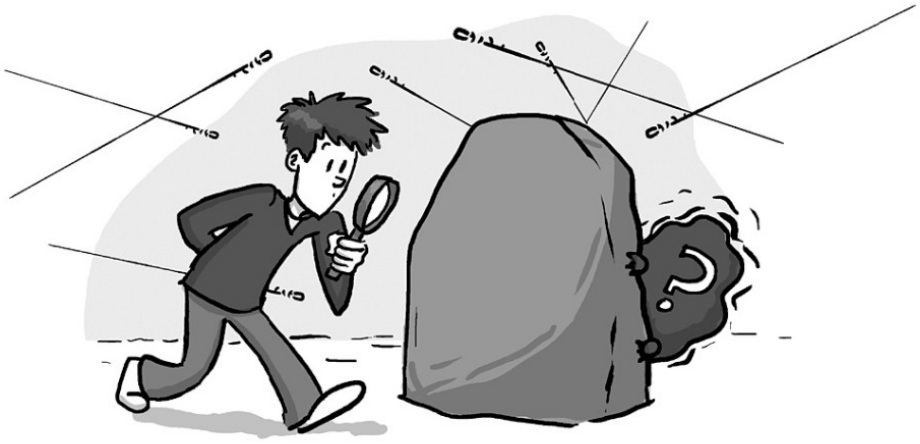
zwykłymi sprawami w nadziei, że kiepsko opłacani naukowcy prędzej czy później wyjaśnią ten poranny ostrzał.

Tymczasem tak właśnie wygląda twoja sytuacja dokładnie w tym momencie – jeśli potraktujesz Ziemię jako swój dom, a promieniowanie kosmiczne jako pociski. Miliony tychże pocisków codziennie wpadają w naszą atmosferę, niosąc z sobą łącznie więcej energii, niż powstaje przy wybuchu bomby jądrowej.

A niepokojące jest to, że nie mamy pojęcia, co (lub kto) nimi do nas strzela.

Nie wiemy, skąd dokładnie pochodzą ani dlaczego jest ich tak dużo. I nie wiemy, jaki naturalny proces mógłby wytwarzać amunicję o takiej energii. Możliwe, że to kosmici, albo może to coś całkowicie nowego, czego nigdy wcześniej nie widzieliśmy. Odpowiedź przekracza wszystko, co nawet nasi obdarzeni zbyt wybujałą wyobraźnią naukowcy mogą właśnie teraz wymyślać.

Czym zatem jest to zagadkowe promieniowanie kosmiczne i dlaczego ktoś tak wściekle nas nim ostrzeliwuje? Znajdź jakąś osłonę i czytaj dalej, a dowiesz się więcej o tej kosmicznej tajemnicy.



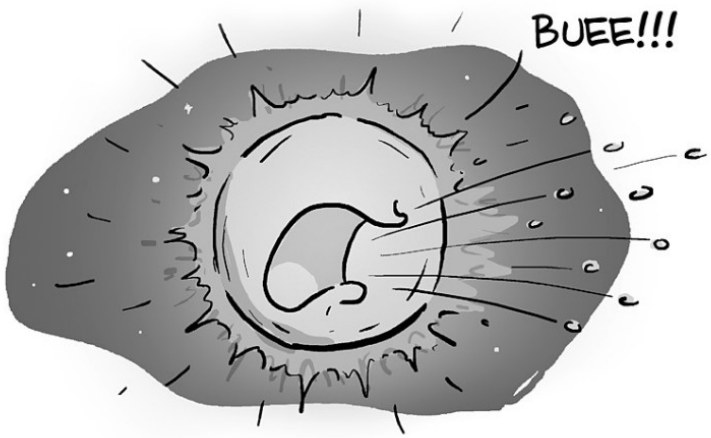
Czym jest promieniowanie kosmiczne?

Nazwa „promieniowanie kosmiczne” może i jest trochę niepotrzebnie intrygująca; tymczasem oznacza po prostu cząstki z przestrzeni kosmicznej. Gwiazdy i inne obiekty bezustannie wystrzeliwują z siebie fotony, protony, neutrina, a nawet trochę ciężkich jonów.

Głównym producentem kosmicznych cząstek jest na przykład nasze Słońce. Poza wytwarzaniem tego, co oczywiste – widzialnego światła, z którego słynie, Słońce wytwarza także wysokoenergetyczne fotony (światło ultrafioletowe, promieniowanie gamma), które potrafią wniknąć w twoje ciało na tyle głęboko, by spowodować raka. A to nic w porównaniu z neutrinami, które pochodzą z fuzji jąder atomowych w piecu hutniczym na Słońcu: co sekundę przez każdy twój paznokieć przenika jakieś 100 miliardów neutrin ze Słońca. Ponieważ neutrina rzadko oddziałują z innymi elementami materii, raczej tego nie poczujesz ani nie musisz się tym specjalnie niepokoić. Średnio rzecz biorąc, zaledwie jedno spośród tych 100 miliardów neutrin w ogóle zwróci na ciebie uwagę i odbije się od jakiejś cząstki twojego kciuka. Zwykle neutrino przeleci przez Ziemię na wylot, z niczym się nie zderzając, wobec tego wprawdzie może nas

martwić, że nie ma sposobu, by się osłonić przed zylionami neutrin, ale pocieszające jest to, że tak naprawdę neutrinom ani w głowie robić ci krzywdę.

Dużo niebezpieczniejsze dla delikatnego mechanizmu ludzkiego życia są cięższe, obdarzone ładunkiem cząstki, takie jak protony albo jądra atomowe. Wysokoenergetyczny proton może, przedzierając się przez ciało człowieka, spowodować znaczne zniszczenia. Szczególnie powinni o tym pamiętać astronauci, którzy muszą stale dbać o odpowiednią osłonę – co nie sprowadza się jedynie do użycia kremu przeciwsłonecznego z filtrem UV. Poza tym Słońce, jak każda olbrzymia kula ognia, potrafi być nieprzewidywalne. Przez większość czasu milutko świeci rozgrzane do gazyliona stopni, ale czasem cierpi na niestrawność, co przejawia się rozbłyskami słonecznymi. Rozbłyski te powodują wyrzucenie daleko w przestrzeń kosmiczną skupisk plazmy i uwolnienie dodatkowych dawek niebezpiecznych cząstek. Każdy, kto wybiera się w przestrzeń kosmiczną, musi sprawdzać dokładną prognozę pogody słonecznej, a gdy tylko zostanie wykryty jakiś tego rodzaju rozbłysk, bardzo szybko chować się za dodatkową osłonę.



Rzecz w tym, że przez cały czas w Ziemię uderzają zyliony cząstek z kosmosu. I niosą ze sobą mnóstwo energii.

Na szczęście dla nas na powierzchni Ziemi[1] zasadniczo chroni nas ziemska atmosfera. Większość cząstek wysokoenergetycznych, na których drodze znajduje się Ziemia, uderza w cząsteczki powietrza otaczającego powierzchnię Ziemi, po czym się rozpada, powodując potężne opady cząstek niskoenergetycznych. Być może zastanawiałeś się kiedyś, od czego pochodzi *aurora borealis* albo *aurora australis* (tzn. zorza polarna): to blask, którego źródłem jest strumień promieniowania kosmicznego odchylany przez ziemskie pole magnetyczne w stronę bieguna północnego i południowego.

Jednak ta ochrona działa tylko wtedy, gdy jesteś blisko powierzchni. Jeśli będziesz spędzać dużo czasu bardzo wysoko nad powierzchnią – jako steward czy stewardesa albo pasażer na gapę – otrzymasz większą dawkę tego promieniowania. Niestety na pokładzie samolotu posmarowanie się filtrem przeciwsłonecznym na wiele się nie zda.

Jak szybko lecą te cząstki? Na powierzchni Ziemi rekord świata w produkcji szybkich cząstek należy do Wielkiego Zderzacza Hadronów, który rozpędza je do takiej prędkości, że zderzają się z energią niemal dziesięciu teraelektronowoltów (10^{13} eV). Wszystko, co ma przedrostek „tera”, robi wrażenie, ale w porównaniu do energii cząstek docierających z kosmosu to nuda. Promieniowanie kosmiczne uderzające w Ziemię z energią na poziomie dziesięciu teraelektronowoltów to zjawisko trwające nieprzerwanie. Właśnie teraz mniej więcej w każdy metr kwadratowy ziemskiej atmosfery wpada jedna taka cząsteczka. Jeśli wyobrażasz sobie, że to dużo, masz rację, bo niosą one ze sobą energię odpowiadającą jednemu wolno jadącemu autobusowi szkolnemu: co sekundę na każdy metr kwadratowy naszego świata spada jeden taki autobus.

Ale istnieje też promieniowanie kosmiczne, które uderza w Ziemię z jeszcze większą energią – dużo, dużo większą. Przy nim cząstki, które przyspieszamy w LHC, wyglądają jak nieporadnie zaczynający raczkować dzidziuś, w dodatku znajdujący się w jakimś gęstym ośrodku, na przykład w maśle orzechowym. Najbardziej wysokoenergetyczna cząstka, jakiej

uderzenia w Ziemię byliśmy świadkami, osiągnęła ponad 10^{20} eV, czyli miała prawie dwa miliony razy większą energię niż najszybsze cząstki z LHC. Cząstka z kosmosu, która ustanowiła ten rekord, była tak szybka, że fizycy nazwali ją cząstką Oh-My-God (O Boże). A kiedy zblazowani na ogół fizycy zaczynają się wyrażać jak osłupiali nastolatkowie, nie ma wątpliwości, że coś musiało na nich zrobić naprawdę silne wrażenie.

Cząstki o tak szalonej energii występują zaskakująco często. Co roku w Ziemię uderza ich mniej więcej 500 milionów. To ponad milion dziennie albo trzysta na sekundę. Właśnie teraz, gdy czytasz to zdanie, ponad tysiąc takich cząstek (o energii odpowiadającej dwóm miliardom wolno jadących autobusów) trafia w Ziemię.

Ale tu dopiero pojawia się najbardziej zdumiewający fakt związany z tymi wysokoenergetycznymi cząstkami: nie znamy niczego we wszechświecie, co byłoby w stanie je wytwarzać!

Zgadza się: codziennie bombardują nas miliony wyjątkowo wysoko-energetycznych cząstek i nie mamy pojęcia, gdzie mogą być generowane. Jeśli poprosisz astrofizyków[2] o oszacowanie, jaką najwyższą prędkość mogłaby kiedykolwiek mieć jakaś cząstka gdziekolwiek w przestrzeni (na podstawie tego, co obecnie wiemy), w odpowiedzi (a) podziękują ci za takie odjazdowe pytanie, (b) wymyślą masę zwariowanych sytuacji, na przykład cząstki, które surfują po eksplodujących supernowych, albo czarne dziury, które wystrzeliwują cząstki jak z procy, oraz (c) wciąż nie określą tego dokładnie. Na podstawie wszelkich dostępnych dziś informacji o wszechświecie wiemy, że największa energia, jaką cząstka może mieć w przestrzeni kosmicznej, wynosi jakieś 10^{17} eV, czyli nadal ponad tysiąc razy mniej od energii tych cząstek, które codziennie trafiają w Ziemię.

Wyobraź sobie, że twój dealer Ferrari powiedział ci, że kupiony przez ciebie samochód wyciśnie 320 kilometrów na godzinę, po czym ty pokazujesz mu, że swobodnie osiągasz nim 320 000 kilometrów na godzinę. Pewnie wyciągnąłbyś stąd wniosek, że nawet najlepsi na świecie eksperci od Ferrari to kompletne tępaki[3].

Tak właśnie jest z promieniowaniem kosmicznym. Istnieją rodzaje promieniowania kosmicznego trafiającego w Ziemię z taką energią, której nie wyjaśnia nic, co znamy we wszechświecie, a to może znaczyć tylko jedno: najwyraźniej w kosmosie musi istnieć jakiś nowy rodzaj obiektów, o których nie wiemy.

W porządku: na papierze wszystko to wydaje się oczywiście logiczne. Ale stwierdzenie czegoś takiego po prostu nie mieści się w głowie! Bo mimo wszystkiego, co wiemy o wszechświecie (a przynajmniej o jego 5 procentach), mimo całych stuleci spędzonych na wpatrywaniu się w gwiazdy i budowaniu niesamowitych superprecyzyjnych narzędzi, nadal istnieją we wszechświecie rzeczy, których nie widzieliśmy! Cokolwiek jest źródłem tego promieniowania kosmicznego o tak szalonej energii, pozostaje tajemnicą. Fajną sprawą jest natomiast to, że cząstki, które to coś nam wysyła, są wskazówkami, gdzie znajduje się owo źródło i czym może ono być. Dzięki temu cała ta kwestia staje się konkretną zagadką, którą możemy od razu próbować rozwiązywać.

Skąd strzelają?

Gdyby ktoś lub coś strzelało do ciebie jakimikolwiek pociskami o superwysokiej energii (śnieżkami, płatkami, glutami itd.), najpierw pewnie rozejrzałbyś się dokoła, żeby zobaczyć, skąd nadlatują. Czy te szalone cząstki wysokoenergetyczne pochodzą z jakiegoś rodzaju gwiazdy? Albo z supermasywnej czarnej dziury? Albo może z jakiejś zamieszkanej przez kosmitów planety (lub planet!)? A może nadlatują zewsząd?

Na szczęście im wyższa energia cząstek, tym wyraźniej będą wskazywały na miejsce pochodzenia; toru cząstek o bardzo wysokiej energii nie zakrzywią tak łatwo pola magnetyczne ani grawitacyjne pomiędzy nami a ich źródłem.

Jednak po to, by domyślić się, skąd nadlatują cząstki, trzeba kilka złapać. Przypomina to trochę sytuację ze snajperami strzelającymi z dachów; im więcej strzałów oddadzą, tym łatwiej ich zlokalizować. Kłopot z ustaleniem, skąd dochodzi to promieniowanie kosmiczne, polega na tym, że Ziemia to dość duży cel. Mimo że codziennie trafiają w nią

miliony cząstek, umieszczenie detektora we właściwym miejscu i czasie, by je wychwycić, to w rzeczywistości wielka sztuka. Powiedzieliśmy wcześniej, że co sekundę setki takich cząstek trafiają w Ziemię – nie kłamaliśmy, ale Ziemia to ogromny obszar. Dlatego istotniejszym parametrem jest liczba cząstek promieniowania kosmicznego, które trafiają w powierzchnię typowego detektora liczoną w kilometrach kwadratowych.

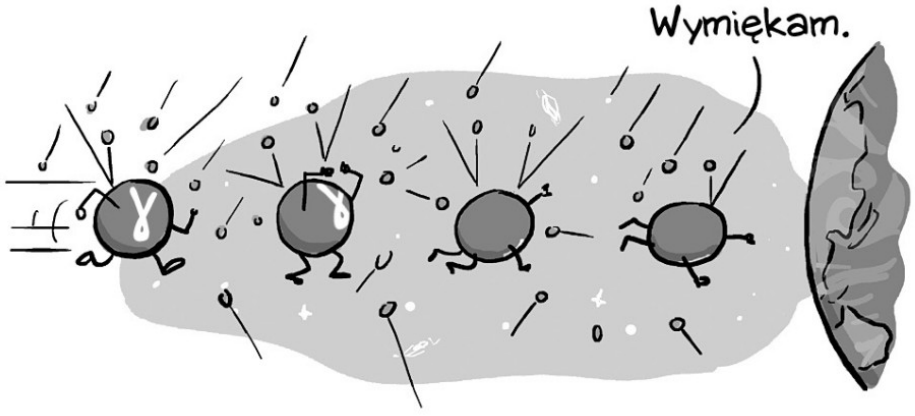
Cząstki o energii na poziomie znanym z LHC (10^{13} eV) docierają do Ziemi w liczbie tysiąca na kilometr kwadratowy na sekundę. Cząstki o energii na poziomie graniczącym z absurdem (10^{18} eV) docierają rzadziej, w liczbie jednej na kilometr kwadratowy na rok.

Ale prawdziwe klejnoty, cząstki o energii powyżej 10^{20} eV, są dużo rzadsze. Docierają w liczbie z grubsza jednej na kilometr kwadratowy na tysiąc lat.

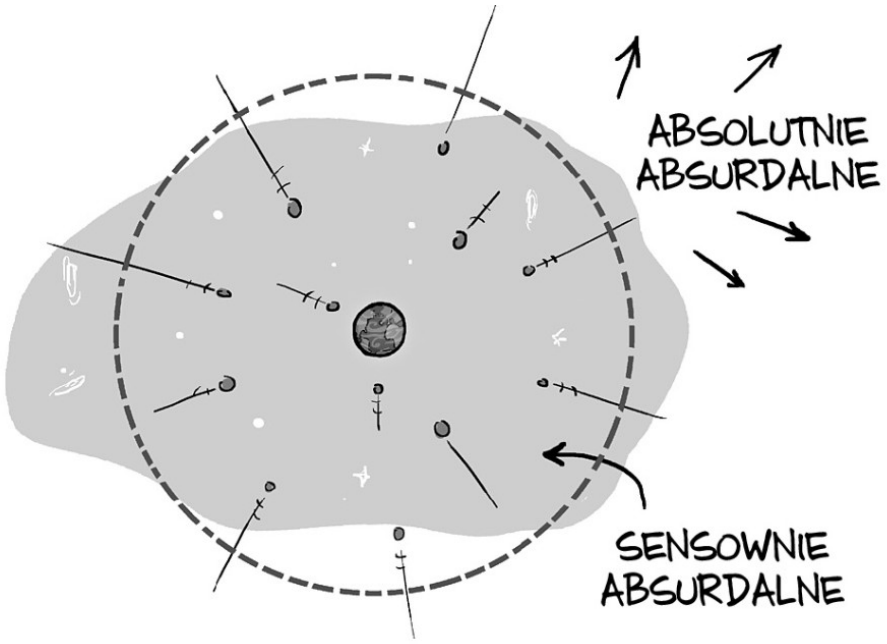
To bardzo utrudnia dojście do tego, skąd przybywają, ponieważ nawet jeśli zbudujesz bardzo duży detektor, szansa na wychwycenie przez niego jednej z tych wysokoenergetycznych cząstek jest bardzo niewielka. Do dziś wszystkie zbudowane kiedykolwiek teleskopy służące do obserwacji

promieniowania kosmicznego wykryły zaledwie garstkę superszybkich cząstek. I jak dotąd nie potrafimy wskazać dokładnie źródła tych szalonych kosmicznych pocisków.

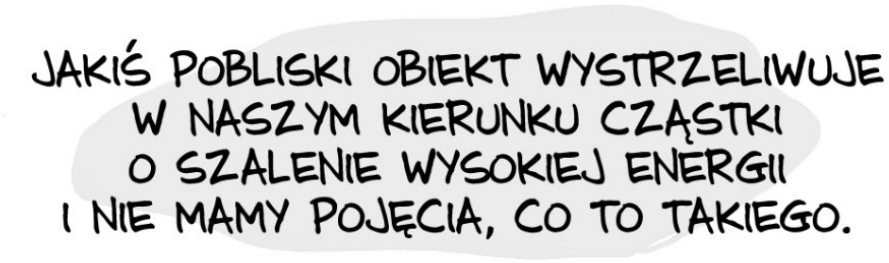
Dobra wiadomość jest taka, że mamy pewną ważną wskazówkę: nie mogą pochodzić ze zbyt daleka. Światło widzialne może przemierzać miliardy kilometrów, nie rozpraszając się i nie spowalniając – dlatego widzimy odległe galaktyki mimo dzielącej nas od nich oszałamiającej odległości. Dla porównania spróbuj zobaczyć góry położone po drugiej stronie jakiejś doliny (najlepiej takiej, w której leży duże miasto), a uświadomisz sobie, jakie to niesamowite, że w przestrzeni kosmicznej możemy widzieć tak daleko[4]. Ale chociaż kosmos wydaje się nam bardzo czysty i pusty, dla obdarzonej ładunkiem elektrycznym wysokoenergetycznej cząstki podróżowanie przez niego jest w rzeczywistości podobne do przeciskania się przez zatłoczony dworzec. Światło, które tworzy dziecięcy obraz wszechświata, czyli kosmiczne mikrofalowe promieniowanie tła, wypełnia wszechświat swego rodzaju fotonową mgłą. Promieniowanie kosmiczne oddziałuje z tą mgłą i dość szybko słabnie. Wystarczy, że cząstka o energii 10^{21} eV pokona zaledwie parę milionów lat świetlnych, a osłabnie do poziomu energii poniżej jakichś 10^{19} eV.



Znaczy to, że cząstki wysokoenergetyczne, które widzimy, muszą nadlatywać z jakiegoś stosunkowo bliskiego źródła, ponieważ w innym wypadku spowolniłaby je fotonowa mgła. Jedyna możliwość, by mogły pochodzić z bardzo daleka, wiąże się z tym, że musiałyby zostać wystrzelone z kompletnie absurdalną energią. Skoro możemy wykluczyć to, co absolutnie absurdalne, to musimy wyciągnąć wniosek, że cokolwiek[5] je wytwarza, musi znajdować się w naszym galaktycznym sąsiedztwie. To pomocna wskazówka, ponieważ z zakresu poszukiwań wyklucza przeogromną objętość przestrzeni, ale nie aż tak pomocna, gdyż objętość przestrzeni, która pozostaje do zbadania, wciąż jest (mówiąc naukowo) wielgachna.



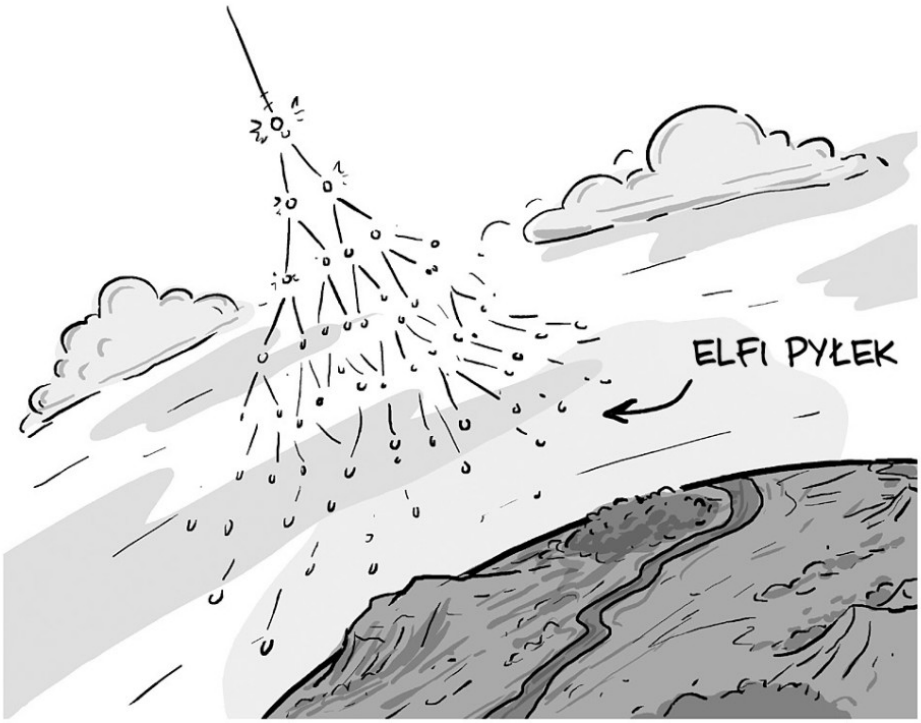
W sumie wszystkie te wskazówki wskazują (jakżeby inaczej?), że możemy być pewni następującego zdumiewającego stwierdzenia:



Na pewno możemy to uznać za kosmiczną wskazówkę, że we wszechświecie wciąż są nowe rzeczy do odkrywania.

Jak można je zobaczyć?

Kiedy superwysokoenergetyczna cząstka dociera do atmosfery, nie jest tak, że pruje prosto w dół aż do powierzchni Ziemi, nie wpadając po drodze na mnóstwo cząsteczek powietrza (na szczęście). Kiedy cząstka o energii 10^{20} eV trafia w jakąś cząsteczkę atmosfery po raz pierwszy, rozpada się na dwie cząstki mające połowę poprzedniej energii. Następnie te dwie cząstki trafiają w inne cząstki i tworzą cztery cząstki, każda o energii równej ćwierci energii wyjściowej – i tak dalej. W końcu powstają biliony cząstek o energii 10^{9} eV, które rozbłyskując, opadają na powierzchnię Ziemi. Ten deszcz cząstek ma zazwyczaj jakiś kilometr lub dwa średnicy i składa się głównie z wysokoenergetycznych fotonów (promieniowanie gamma), elektronów, pozytonów i mionów. Wykrywając taki rozległy i potężny deszcz, możemy ustalić, że jakaś superwysokoenergetyczna cząstka trafiła w Ziemię.



Ale dostrzeżenie deszczu na obszarze o kilometrowej średnicy wymaga bardzo dużego teleskopu. Na szczęście wprawdzie teleskop musi być bardzo szeroki, nie musi jednak być ciągły. Nikogo nie stać na wybudowanie detektora cząstek o powierzchni ponad kilometra kwadratowego, dlatego robi się to inaczej: po prostu montuje się wiele mniejszych detektorów cząstek rozsianych po całej połaci ziemi o tej powierzchni. Takim teleskopem jest Obserwatorium Pierre Auger w Ameryce Południowej. Na terenie o powierzchni 3000 kilometrów kwadratowych znajduje się tam 1600 detektorów cząstek i ponad 10 000 krów[6].

Ten detektor to bardzo dobry pomysł na wypatrywanie deszczy ultrawysokoenergetycznego promieniowania kosmicznego, więc wygląda to bardzo, bardzo obiecująco. Ale pamiętaj, że cząstki superwysokoenergetyczne spadają na kilometr kwadratowy raz na tysiąc lat. Więc nawet gdybyś pokrył w ten sposób 3000 kilometrów kwadratowych, mógłbyś zobaczyć tylko kilka takich cząstek w ciągu roku, co po kilkudziesięciu latach obserwacji może nie wystarczyć do rozwiązania zagadki.

Co jeszcze możemy zrobić? Aby zawęzić obszar poszukiwań źródeł tych cząstek i odkryć coś na temat ich pochodzenia, trzeba będzie nałapać jeszcze całe ich mnóstwo. Ale zbudowanie większego teleskopu przy użyciu istniejących technologii kosztowałoby masę pieniędzy. Teleskop w obserwatorium Auger kosztował jakieś 100 milionów dolarów.

Niezwykle ciekawie przedstawia się pomysł, by spróbować wykorzystać coś, co zbudowano już wcześniej w jakimś innym celu, i przystosować to coś do roli teleskopu wykrywającego promieniowanie kosmiczne[7]. Gdybyś miał stworzyć opis idealnego teleskopu wykrywającego promieniowanie kosmiczne, pewnie chciałbyś, żeby miał takie oto cechy:

• ogólnoświatowy zasięg
• jak najniższa cena
• absolutnie fantastyczny system audio
• już zbudowany i rozlokowany.

Zanim wykpisz niedorzeczność tych wymogów, zastanów się przez chwilę, czy to mogłoby być realne. Czy jest gdzieś istniejąca już sieć detektorów cząstek rozsianych po całym świecie i nieużywanych przez znaczną część dnia? Jeśli wklepiesz to pytanie do Google’a w smartfonie, będziesz bliżej odpowiedzi, niż możesz to sobie wyobrazić.

Okazuje się, że aparaty cyfrowe w smartfonach mogą działać jako detektory cząstek. Ta sama technologia, która umożliwia im robienie świetnych zdjęć z lunchu w sushi barze albo uwiecznianie najnowszych niesamowitych osiągnięć twoich dzieci (naprawdę, masz cudowne dzieci!), sprawia również, że są czułe na deszcze cząstek powstające w chwili wpadania do atmosfery cząstek wysokoenergetycznych. Przecież smartfony są wszędzie – gdy pisaliśmy tę książkę, aktywnie wykorzystywane były ponad trzy miliardy tych urządzeń; w dodatku da się je programować, są połączone z internetem, mają włączony GPS i przez całą noc są nieużywane. Gdyby na tych smartfonach uruchomić aplikację, która korzystałaby z aparatu do wykrywania cząstek, te telefony mogłyby być

częścią rozproszonego, opartego na crowdsourcingu, globalnego teleskopu wykrywającego promieniowanie kosmiczne. Pewni naukowcy niedawno wysunęli tezę, że gdyby wystarczająco dużo osób (dziesiątki milionów) uruchomiło taką aplikację na noc, kiedy nie używają telefonu, wówczas powstała w ten sposób sieć mogłaby wychwycić mnóstwo tego wysokoenergetycznego promieniowania kosmicznego, które w przeciwnym wypadku możemy przegapić[8]. Im więcej ludzi uruchomi aplikację, tym sieć będzie większa i tym więcej promieniowania będzie można zebrać. To możesz być ty! W głębi serca wiesz, że zawsze chciałeś być astrofizykiem, a jeśli ten zwariowany pomysł wypali, będziesz miał udział w rozwiązaniu jednej z największych tajemnic we wszechświecie.

Co to może być?

Kiedy mówimy, że astrofizycy nie potrafią wyjaśnić wysokiej energii tych cząstek, mamy na myśli, że nie potrafią jej wyjaśnić na podstawie działania obiektów, o których wiemy. Jeśli pozwolisz astrofizykom puścić wodze fantazji, by mogli wymyślać nowego typu obiekty zdolne do wytwarzania tak szybkich cząstek, uzyskasz mnóstwo fajnych pomysłów.

Astrofizycy to osoby kreatywne, a historia naszego badania kosmosu dowodzi, że wszechświat potrafi być jeszcze bardziej kreatywny. Oto kilka pomysłów, które mogą wyjaśniać tę zagadkę – pamiętaj jednak, że najbardziej prawdopodobny jest scenariusz, w którym żaden z nich nie jest słuszny, a prawdziwe wyjaśnienie jest jeszcze bardziej fantastyczne niż to wszystko, co ci szaleni naukowcy potrafią wymyślić.

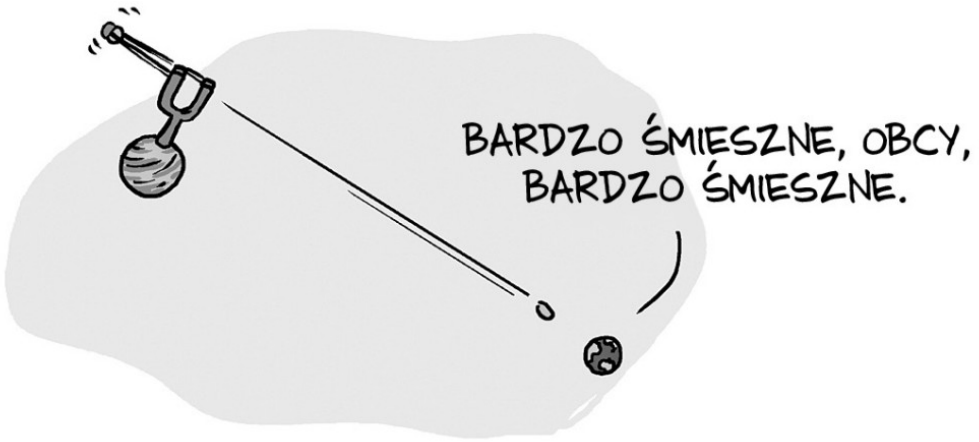
Supermasywne czarne dziury

Wyjaśnieniem, które przez wiele lat cieszyło się ogromną popularnością, była teoria, że te wysokoenergetyczne cząstki powstają w niezwykle potężnych czarnych dziurach w centrach galaktyk. Takie czarne dziury mają masę tysiące lub miliony razy większą niż nasze Słońce. Oprócz tego, co zostało już wessane do czarnej dziury[9], jest tam potężna masa wirującego wokół gazu i pyłu, czekająca na swoją kolej, by też zostać wciągnięta. Cała ta masa jest poddana przepotężnym oddziaływaniom i jak zaobserwowano, generuje niesamowite promieniowanie. Jednak garstka bardzo wysoko-energetycznego promieniowania kosmicznego, którą widzieliśmy w ciągu trwającej od dziesięcioleci obserwacji, nie wskazuje na źródło pokrywające się z położeniem tych aktywnych jąder galaktyk. Oznacza to, że jest mało prawdopodobne, by to one wyjaśniały naszą zagadkę, a skoro tak, to droga do jeszcze bardziej dziwacznych pomysłów stoi przed nami otworem.

Naukowcy z kosmosu

Niektórzy naukowcy zastanawiają się, czy jesteśmy jedynym inteligentnym gatunkiem, który bada materię, próbując rozłożyć ją na czynniki pierwsze. A co, jeśli kosmici – tak, mówimy o inteligentnych istotach pozaziemskich! – zbudowali już na tyle duży zderzacz cząstek, że rozbili materię na dużo mniejsze elementy, niż udało się nam?

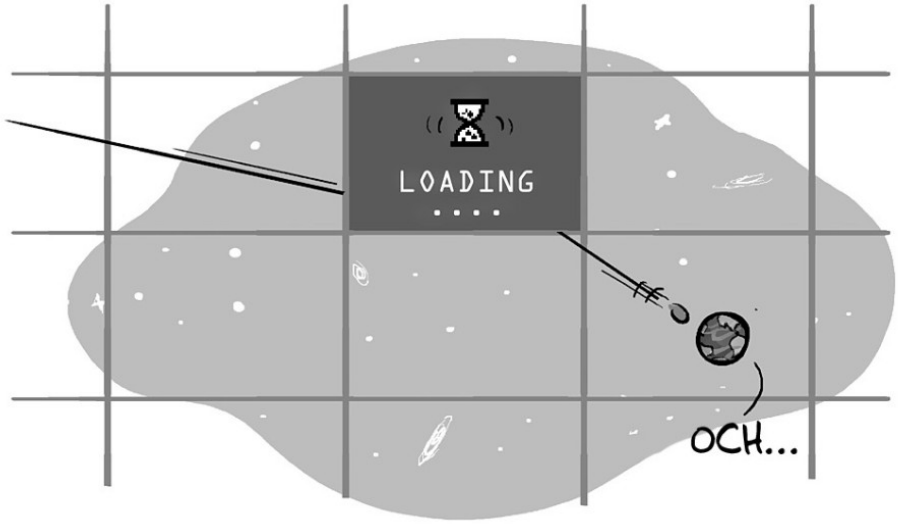
Ultrawysokoenergetyczne promieniowanie kosmiczne, które widzimy, mogłoby być po prostu pozostałością, zanieczyszczeniem po ich eksperymentach. A skoro mowa o kosmitach, to dopuść do siebie myśl o jeszcze zabawniejszej i bardziej absurdalnej możliwości. Co by było, gdyby odkryto, że cząstki te pochodzą z jednego miejsca, na przykład jakiejś nadającej się do zamieszkania planety krążącej po orbicie którejś z pobliskich gwiazd? Cóż by to było za niezwykłe odkrycie.



Matrix

Kolejne pomysły robią się coraz bardziej zwariowane. Niektórzy naukowcy spekulują, że być może nasz wszechświat istnieje jedynie jako pewnego rodzaju symulacja wewnątrz jakiegoś kosmicznego komputera. Być może istoty zamieszkujące jakiś większy metawszechświat prowadzą rodzaj eksperymentu z naszym wszechświatem[10]. Kto to może wiedzieć? Taka symulacja mogłaby mieć pewne usterki z powodu ograniczeń komputera obsługującego nasz wszechświat[11]. Jeśli ta symulacja opiera się na pokawałkowaniu wszechświata na gigantyczne sześciany i uruchomieniu symulatora fizyki w każdym z nich, to eksperyment ten przyniesie dziwne rezultaty w stosunku do obiektów poruszających się bardzo szybko przez

wiele sześcianów. Innymi słowy, prawidłowości dotyczące kierunków ultrawysokoenergetycznego promieniowania kosmicznego mogłyby ujawnić, że nasz wszechświat to symulacja.



Nowe oddziaływanie

Istnienie cząstek o wyjątkowo dużych energiach staramy się wyjaśnić przy użyciu wszystkich kosmicznych obiektów i oddziaływań, jakie tylko znajdujemy w naszej skrzynce z narzędziami do fizyki. Ponieważ jednak zagadka pozostaje od tak dawna nierozwiązana, wskazuje to na inną możliwość, równie ekscytującą co intrygującą. Może te cząstki są rezultatem jakiegoś nieodkrytego jeszcze oddziaływania. Jeśli takie oddziaływanie istnieje i jest odpowiedzialne za wysokoenergetyczną część promieniowania kosmicznego, musiałby być jakiś powód, dla którego nie widzimy jego skutków w innych miejscach. Ale niedawne odkrycie, że ciemna energia stanowi 68 procent całej energii, pokazuje nam, że pomysł, by istniały jakieś zakrzywiające wszechświat oddziaływania, których jeszcze nie widzieliśmy, wcale nie jest nierealistyczny. Może te cząstki są wskazówką, która ujawni nam całkowicie nowe oddziaływanie.

Stara, poczciwa fizyka

Możliwe oczywiście, że odpowiedź jest dość prozaiczna i nie doprowadzi nas do żadnego spektakularnego przełomu w rozumieniu natury wszechświata. Może będzie to jakiś nowy i obecnie nieznany etap w cyklu życia jakiejś gwiazdy albo innego obiektu, który jest interesujący dla ludzi lubiących badać kosmos, ale nie powie nam niczego ważnego na temat wszechświata. Ale nie trać wiary w marzenia.

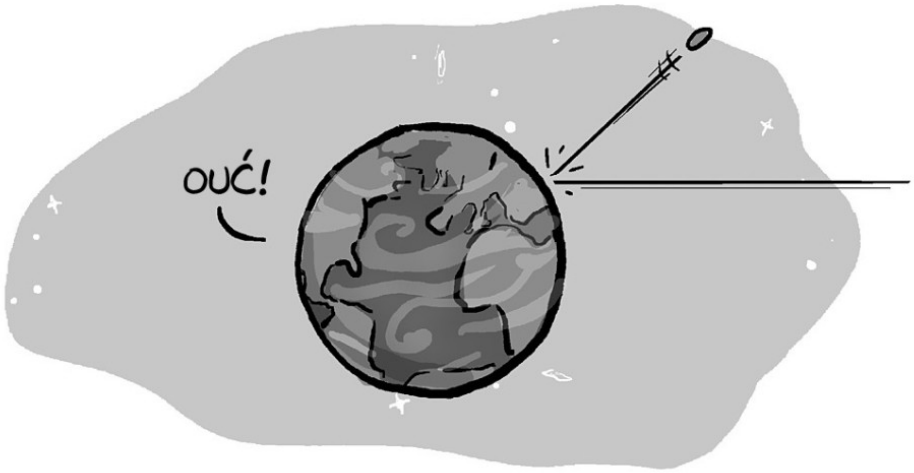
Kosmiczni posłańcy

Pewnie wszystkie swoje dotychczasowe lata przeżyłeś, nie wiedząc, że bombardują cię superenergetyczne pociski z kosmosu. Gdybyś nie przeczytał tego rozdziału, pewnie dalej wiódłbyś szczęśliwe życie w błogiej nieświadomości, że gdzieś tam istnieje coś dziwnego, co do ciebie strzela, i że nikt nie ma pojęcia, co albo kto to może być.

Jest już jednak za późno. Jak wiesz z rozdziału 8, nie możesz cofnąć się w czasie. Ale skoro już to wiesz, możesz wykorzystać tę wiedzę, by trochę częściej spoglądać w niebo i przypominać sobie, że w naszym wszechświecie wciąż nie brak fantastycznych tajemnic.

Zamiast traktować promieniowanie kosmiczne jako pociski, które mają zrobić ci krzywdę, możesz o nich pomyśleć jako o posłańcach. Zastanów się: przemierzają całe miliardy kilometrów kosmosu i niosą informację o jakichś obłędnych nowych rzeczach, których nigdy wcześniej nie widzieliśmy ani nawet sobie ich nie wyobrażaliśmy. Niosą dowód na istnienie procesu o niewiarygodnej energii, a być może także nowych oddziaływań, istnienia nieznanych kosmicznych mechanizmów albo obcych form życia. Przynoszą ze sobą obietnicę zdumiewających odkryć.

A trafienia czymś takim na pewno nie chciałbyś uniknąć!



[1] Jeśli ktoś z was czyta tę książkę na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej, prosimy: przyślij nam jakąś fajną fotkę.

[2] My poprosiliśmy.

[3] Zgadza się, w tej analogii dealerzy Ferrari to astrofizycy.

[4] Przypomnisz też sobie, że duże miasta nie są najlepszym miejscem do oddychania.

[5] Albo… ktokolwiek (dum-dum duuummm).

[6] Krowy nie służą w celach naukowych… o których wiemy.

[7] Pełna jawność: na ten pomysł wpadł jeden z autorów tej książki. Nie, nie chodzi o rysownika, tylko o tego drugiego.

[8] Ci „pewni” naukowcy to Daniel i jego przyjaciele. Więcej informacji znajdziesz na stronie http://crayfis.io

[9] „Dziura” wydaje się beznadziejną nazwą dla czegoś, co w rzeczywistości jest bardzo zbite i zwarte. Lepszym określeniem byłaby „ciemna masa”, gdyby nie to, że jest już zajęte i raczej nie brzmi dobrze.

[10] Owszem, pierwszy na ten pomysł wpadł Douglas Adams, ale tu chodzi o coś, co poważni naukowcy traktują poważnie. Poważnie.

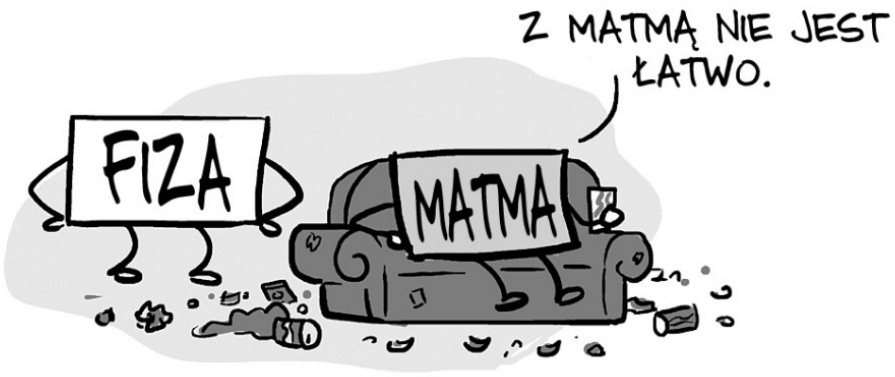
[11] Jeśli pracuje pod Windowsem, miejmy nadzieję, że się nie zawiesi.

12

Dlaczego składamy się z materii, a nie z antymaterii?

Odpowiedź nie będzie antypatyczna!

Matematyka i fizyka są bardzo ściśle związane, a to znaczy, że – podobnie jak w wypadku współlokatorów z długim stażem – zazwyczaj panują między nimi bardzo dobre stosunki, ale czasem zdarza im się kłócić o to, kto komu wyjadł jedzenie z lodówki[1].

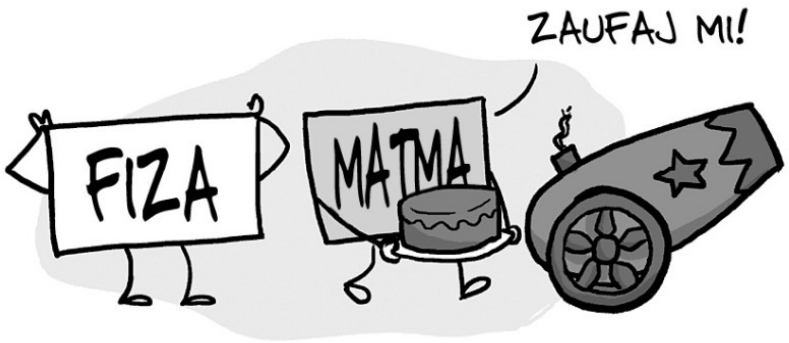


Zależność fizyki od matematyki polega na przykład na tym, że matematyka pozwala wyrażać prawa fizyki, takie jak $E=mc^2$, a także

wykonywać ważne obliczenia przy rozwiązywaniu różnych problemów, jak choćby ten: „Jaki najgrubszy plasterek ciasta mogę ukroić, żeby mój współlokator się nie zorientował?”. Matematyka jest językiem fizyki, tak jak angielski jest językiem Szekspira. Jeśli nie znasz matematyki, czytanie „fizycznych” sonetów okaże się dla ciebie udręką[2]. Chociaż nawet jeśli znasz matematykę, wiersze pisane przez fizyków nie zawsze są bardzo dobre.

Z drugiej strony matematyka jest uzależniona od fizyki: to fizyka pozwala jej robić coś pożytecznego. Bez fizyki matematyka ograniczałaby się do abstrakcyjnych pojęć, takich jak liczby urojone i wysokie zwroty podatku. Fizyka może również pobudzać matematyków do odkrywania nowych problemów matematycznych. Na przykład rozwój teorii strun, która jest kandydatką do miana ostatecznej teorii fizycznej, zrodził w matematyce mnóstwo nowych spostrzeżeń.

Bywają też sytuacje, kiedy intuicja stanowi dla nas przeszkodę w rozumieniu świata fizyki, i w takich wypadkach lepiej oprzeć się na tym, co nam podpowiada matematyka – na przykład kiedy próbujemy zrozumieć dziwaczne zachowanie cząstek kwantowych albo formularze podatkowe. W takich wypadkach nie pozostaje nic innego, jak pozwolić poprowadzić się matematyce. Zakładając, że nie masz problemu z wykonywaniem obliczeń, możesz zaufać matematyce, że opisuje rzeczywistość dokładniej niż twoja intuicja. Być może bez sensu wyda ci się to, że twój zwrot podatku ma wynieść dwanaście biliardów dolarów albo że cząstki kwantowe mogą pojawiać się po drugiej stronie nieprzeniknionej bariery – ale jeśli obliczenia matematyczne są poprawne, to tak właśnie jest.



Ale nie zawsze. Czasem matematyka przewiduje pewne rzeczy, które nie mają fizycznego sensu i które należy odrzucić. Załóżmy na przykład, że prowadzisz wytwórnię wyrobów cukierniczych i właśnie testujesz nowy system balistyczny służący do dostarczania ciasta czekoladowego klientom. Z jaką prędkością musisz wystrzelić ciasto, aby po pokonaniu parabolicznej trajektorii wylądowało dokładnie przed drzwiami klienta? Chcąc to obliczyć, musiałbyś rozwiązać równanie, które wygląda tak: $y = ax^2 + bx + c$ – tym sposobem ustalisz prędkość wystrzelenia i kąt nachylenia twojej strzelającej ciastem armaty. Ponieważ to równanie zawiera x^2, będzie miało dwa rozwiązania, przy których ciasto spadnie na ziemię.

Jednym z rozwiązań jest to, o które chodzi fizyce: wystrzelenie ciasta czekoladowego w taki sposób, by precyzyjnie dostarczyć miażdżąco pyszny deser. Ale drugie rozwiązanie da ci już bezsensowną odpowiedź: mówi ona, że prędkość początkowa powinna być ujemna, co oznacza, że musiałbyś wystrzelić ciasto do tyłu i prosto w ziemię. Jest to poprawne rozwiązanie matematyczne, ale nie fizyczne. Pojawia się ono dlatego, że podejście matematyczne polega na modelowym ujęciu problemu, które nie uwzględnia wszystkich fizycznych ograniczeń układu, jak choćby faktu, że ciasto nie przeleci przez twardy grunt. W ogóle pominęliśmy też kwestie bezpieczeństwa związane z możliwością podziurawienia nieba ciastem czekoladowym, ale w tej książce zależy nam wyłącznie na fizyce.

W pewnych sytuacjach, na przykład w twoim pomyśle z użyciem ciasta jako pocisku (od samego początku skazanym na porażkę), jest oczywiste, że jedno rozwiązanie jest realne, a drugie – ujemne – należy pominąć. Fizycy przyzwyczaili się do tego i rutynowo odrzucają niefizyczne rozwiązania, uznając je za matematyczne artefakty, które nie dają nam żadnego rzeczywistego wglądu we wszechświat.

Drodzy fizycy (oraz właściciele wytwórni cukierniczych), nie bądźcie jednak tacy zadowoleni i uważajcie, bo niektóre z tych artefaktów mogą być prawdziwe i być może Nagroda Nobla (oraz krociowe zyski) tylko czeka na zdobycie. W tym rozdziale opowiemy, w jaki sposób pewne ujemne rozwiązanie doprowadziło do odkrycia antycząstek i antymaterii. Przedstawimy też dotyczące ich pytania, pytania, na które do dzisiaj – prawie sto lat po tym, jak potajemnie zjedzono ostatnie okruchy ciasta czekoladowego, które zdobyło nagrodę Nobla – nie odpowiedziano.

Cząstki lustrzane

Cała historia z antycząstkami zaczęła się w chwili, gdy pewien fizyk o nazwisku Paul Dirac próbował stworzyć równania opisujące mechanikę kwantową elektronów poruszających się z bardzo wysoką prędkością.

Wcześniej fizycy stworzyli równania, które mogły opisywać mechanikę kwantową spokojnych, wolno poruszających się elektronów. Stanowiły one część fantastycznej rewolucji, jaką było pojawienie się mechaniki kwantowej na początku XX wieku. Wymagała ona przemyślenia całkowicie na nowo natury rzeczywistości na najniższych jej poziomach. Mechanika kwantowa zmusiła fizyków do porzucenia głęboko zakorzenionych i prostych założeń na temat świata: że rzeczy nie mogą być w dwóch miejscach naraz albo że dwukrotne powtórzenie dokładnie tego samego doświadczenia powinno dać ten sam wynik. Bum! Mózg eksplodował.

Ale na początku XX wieku fizycy stali się odpowiedzialni za wysadzenie w powietrze naszej naiwnej percepcji wszechświata nie raz, lecz dwa razy. Jakby nie dość było filozoficznego szaleństwa mechaniki kwantowej, nadeszła druga rewolucja, którą była teoria względności. Jak pokazuje teoria względności, ograniczenie prędkości we wszechświecie (zob. rozdział 10) oznacza, że musimy porzucić także inne pojęcia na temat

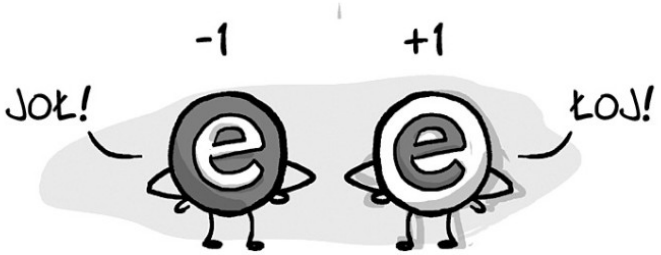
wszechświata, do których od dawna byliśmy przywiązani. W tym wypadku trzeba było odejść od staroświeckiego pomysłu, że czas jest uniwersalny i że uczciwi ludzie zawsze będą się zgadzać co do chronologii wydarzeń.

Dirac przyjrzał się tym dwóm szalonym wzorom matematycznym – które poprawnie opisują dwa różne prawa fizyczne, są sprzeczne z intuicją i powodują eksplozję mózgu – i postawił sobie pytanie: co się stanie, jeśli je połączę? Być może miał nadzieję, że wyjdzie z tego coś jeszcze bardziej zwariowanego – i nie mylił się.

Opracował równanie (pomysłowo nazwane równaniem Diraca), opisujące zachowanie szybko poruszających się elektronów, które obejmowało zarówno mechanikę kwantową, jak i teorię względności; było piękne i eleganckie, a poza tym wydawało się, że dobrze opisuje rzeczywistość, z wyjątkiem jednego małego problemu[3].

Dirac zauważył, że jego równania sprawdzają się w odniesieniu do elektronów ze zwyczajnym, ujemnym ładunkiem, ale działają tak samo dobrze, kiedy zastosuje się je do elektronów z przeciwnym ładunkiem elektrycznym[4]. Tak jest: jego równanie wskazywało, że prawa fizyki działałyby tak samo dla elektronu o ładunku dodatnim, który Dirac nazwał antyelektronem. Ten antyelektron pod wieloma względami bardzo przypominał elektron: miał tę samą masę i te same kwantowe właściwości.

Ale posiadał dodatni ładunek elektryczny. To było niezrozumiałe, ponieważ nigdy nie zaobserwowano takiej cząstki.



Ktoś inny mógłby łatwo to zlekceważyć jako matematyczny artefakt – ujemne rozwiązanie, które należy pominąć. Ale Diraca to zaintrygowało. Co by było, gdyby nie chodziło tu tylko o zwariowaną matematykę, ale o coś mającego znaczenie dla rzeczywistości? W końcu jakie prawo fizyki zakazuje istnienia antyelektronów? Dirac takiego nie znał.

Dirac spojrzał na równania i faktycznie posunął się jeszcze dalej. Wysunął tezę, że wszystkie cząstki mają odpowiadające im antycząstki.

A zatem Dirac nie tylko przewidział istnienie jednej nowej cząstki; przewidział istnienie całkiem nowego rodzaju cząstek. To był dopiero pomysł. Twierdzenie, że każda cząstka ma swoją przeciwną wersję – jak w filmach, w których jakaś dobra postać ma złego bliźniaka – z pozoru brzmi głupio. W wypadku cząstek ten bliźniak, antycząstka, ma nie tylko różny ładunek elektryczny, ale także różne ładunki oddziaływania słabego i silnego. W filmie oznaczałoby to, że jeśli dobra bliźniaczka jest wysoką, grubą brunetką i lubi gorzką czekoladę, to jej zły brat bliźniak byłby niskim, chudym fanem białej czekolady (drań!).

Jakkolwiek szalony nie był to pomysł, okazał się też trafiony. W rzeczywistości naukowcy wielokrotnie zaobserwowali antycząstki. Wkrótce po ogłoszeniu przez Diraca tego pomysłu wykryto antyelektron (nazwany wówczas pozytonem). Dzisiaj w odniesieniu do prawie każdej obdarzonej ładunkiem cząstki, jaką znamy, potwierdzono istnienie jej antycząstki. Antycząstki mogą łatwo powstawać w wyniku zderzania cząstek i CERN co roku produkuje ich kilka pikogramów. Promieniowanie kosmiczne także czasem zawiera antycząstki albo tworzy krótko żyjące antycząstki, kiedy zderza się z cząstkami atmosfery.

Antycząstki są dobrym przykładem symetrii odkrywanych w fizyce najmniejszej skali. Zamiast myśleć o cząstce i jej antycząstce jako o dwóch niepowiązanych cząstkach, każdą taką parę możesz sobie wyobrazić jako dwie strony tej samej monety. A pamiętaj, że kopie cząstek pojawiają się też w innych aspektach organizacji naszego wszechświata: każda cząstka materii ma już dwóch cięższych kuzynów. Na przykład elektron ma cząstki o nazwie mion i taon, które mają prawie identyczne właściwości kwantowe

co elektron (te same ładunki i spin), ale większą masę. Zatem elektron ma swoje kopie na dwa sposoby: ma swoich ciężkich kuzynów i swoją antycząstkę. A oczywiście ciężcy kuzyni mają własne antycząstki.

Być może nie koniec na tym! Pewna oparta na razie na przypuszczeniach teoria zwana supersymetrią postuluje, że każda cząstka ma jeszcze inny rodzaj odbicia, supercząstkę, która jest podobna do cząstki pierwotnej (ten sam ładunek i być może ta sama masa), ale ma inny spin kwantowy. Wszechświat jest pełen krzywych luster z wesołego miasteczka, które na różne sposoby odbijają i zniekształcają prawidłowości cechujące cząstki.

Ale te wszystkie nowe cząstki wzbudzają tylko dalsze pytania: dlaczego nasze cząstki mają te „złe” bliźniacze odmiany?[5] I dlaczego w codziennym życiu nie widzimy ich więcej wokół nas?

Anihilacja antycząstek

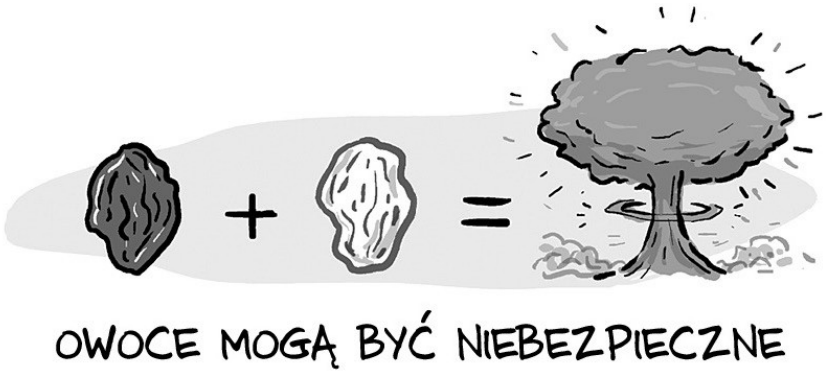
Podobnie jak to bywa ze wszystkim, co odgrywa znaczącą rolę w książkach i filmach science fiction, na temat antymaterii może funkcjonować sporo błędnych wyobrażeń. Może na przykład słyszałeś, że kiedy jakaś cząstka spotyka się ze swoją antycząstką, obie wybuchają. Brzmi głupio?

Jak się okazuje, to akurat jest prawda.

Kiedy jakaś cząstka spotyka swoją bliźniaczą antycząstkę, robią coś więcej niż zwykły uścisk i przytulenie: zupełnie niszczą się nawzajem. Te dwie cząstki znikają, a ich masy zostają całkowicie zamienione w wysoko-energetyczny nośnik oddziaływań, na przykład foton albo gluon. Nazywamy to „anihilacją”. Znika wszelki ślad po pierwotnych cząstkach. Dzieje się tak nie tylko w wypadku elektronów i pozytonów, ale też podczas spotkania kwarków z antykwarkami czy mionów z antymionami.

Zbliż do siebie cząstkę i jej złego bliźniaka, a możesz się spodziewać mnóstwa dramatycznych scen i wielkiego rozbłysku energii. A więc najbardziej zwariowanie brzmiąca cecha antycząstek znana z science fiction jest w rzeczywistości prawdziwa!

To naprawdę duża rzecz, ponieważ w masie zmagazynowane jest mnóstwo energii. Jak wszyscy wiemy, Albert Einstein ustalił, że związek między masą i energią opisuje równanie $E = mc^2$. Zwróć uwagę, że w tym równaniu prędkość światła, c, która sama w sobie wynosi aż 300 milionów metrów na sekundę, jest podniesiona do kwadratu, więc mała porcja masy niesie w sobie mnóstwo energii. Kiedy dwie cząstki zostają anihilowane, uwalnia się olbrzymia ilość zmagazynowanej energii. Ujmijmy to w liczbach: pojedynczy gram antycząstek połączony z gramem normalnych cząstek wyzwoliłby siłę wybuchu wynoszącą ponad czterdzieści kiloton, co stanowi więcej niż dwukrotność mocy bomb atomowych użytych przez Stany Zjednoczone podczas drugiej wojny światowej. Zwykły rodzynek, jaki możemy znaleźć w kuchni, waży mniej więcej gram – a więc połączenie rodzynka i antyrodzynka byłoby liofilizowaną bronią masowego owocenia.

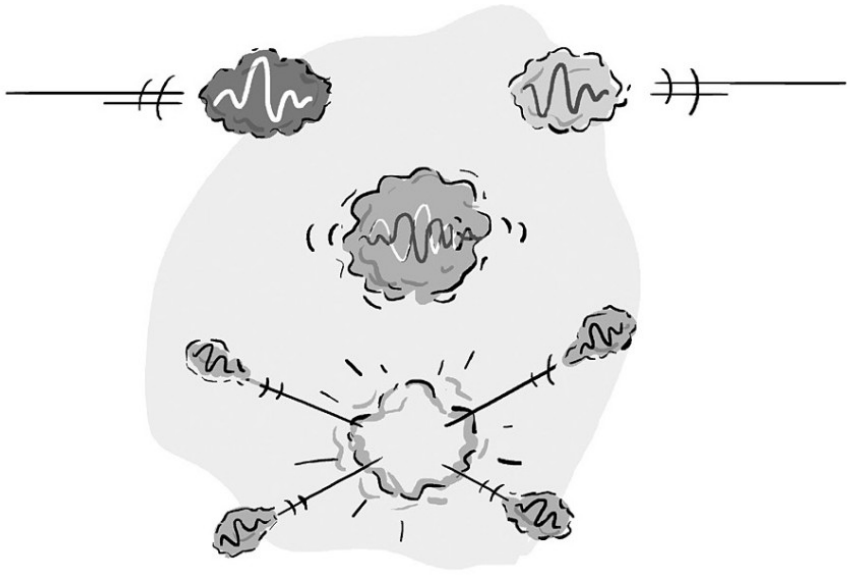


Pojęcie anihilacji może ci się wydawać dziwne, ponieważ nie codziennie widujesz, jak przedmioty zamieniają się w oślepiające rozbłyski

energii[6]. Co to zatem znaczy, że dwie rzeczy się anihilują? Czy wystarczy, że się zbliżą, i kiedy się zetkną, bum! – nagle zamienią się w czystą energię?

Przede wszystkim należy pamiętać, że te cząstki to w rzeczywistości obiekty mechaniki kwantowej, a nie malutkie kuleczki. Czasem możesz skorzystać z wyobrażenia cząstek jako kuleczek, by zrozumieć, co robią, a czasem musisz użyć wyobrażenia fali kwantowej, ale jedno i drugie jest niezdarne, a bywa, że także niewłaściwe. Jak ten wujek na corocznym pikniku rodzinnym. Wiesz, kogo mam na myśli.

Kiedy dwie cząstki zbliżają się do siebie, tak naprawdę nie stykają się ze sobą, ponieważ w rzeczywistości nie mają powierzchni. Możesz natomiast wyobrazić to sobie tak, że pewne cechy ich kwantowego opisu łączą się ze sobą, sprawiając, że para cząstka-antycząstka znika, przyjmując inną postać energii, w większości wypadków postać fotonu. Z tej energii mogą powstać inne rodzaje cząstek – w zależności od ilości energii, która wcześniej starła się ze sobą. Właśnie to dokonuje się w Wielkim Zderzaczu Hadronów podczas roztrzaskiwania przez nas cząstek. Ma ono na celu tworzenie ze zwykłych składników materii ich nowych rodzajów.



ŚCIERANIE SIĘ CZĄSTEK

Znaczy to, że wzajemne oddziaływanie między dwiema cząstkami zawsze w jakiś sposób powoduje anihilację cząstek pierwotnych i powstanie nowych. Tym, co wyróżnia cząstki i antycząstki, jest to, że są lustrzanymi odbiciami, co znaczy, że mają przeciwne ładunki. Sprawia to, że przyciągają się do siebie, wobec tego jest bardziej prawdopodobne, że będą się ze sobą ścierały. Równocześnie są dla siebie idealnym uzupełnieniem, czyli w wyniku anihilacji musi z nich powstać coś neutralnego, na przykład foton.

Kolejną rzeczą, o której trzeba pamiętać, jest to, że gdy cząstki wzajemnie ze sobą oddziałują (czyli jak gdyby się ścierają), pewne rzeczy zostają zachowane. Na przykład zaobserwowaliśmy, że ładunki elektryczne nigdy nie powstają z niczego i nigdy nie ulegają zniszczeniu. Całkowity ładunek elektryczny cząstek przed starciem i po nim musi być ten sam. Dlaczego tak jest? Nie wiemy. Nie rozumiemy, dlaczego obowiązują te zasady; po prostu widzimy te prawidłowości w doświadczeniach i włączamy je do tworzonych przez siebie teorii.

Kiedy elektron i jego antycząstka, pozyton, zbliżą się do siebie, ich przeciwne ładunki (−1 oraz +1) przyciągają je jeszcze bardziej. A kiedy te cząstki się ze sobą zetrą, ich przeciwne ładunki elektryczne idealnie się nawzajem znoszą, powodując zniknięcie wszelkich śladów ich istnienia, tak że na koniec pozostają tylko fotony. Gdybyś próbował zrobić to z innymi cząstkami, na przykład z dwoma elektronami, ich ujemne ładunki odpychałyby je od siebie. Gdyby jakoś udało ci się pokonać to odpychanie, po starciu elektronów musiałby zostać zachowany czysty ujemny ładunek (−2), co nie pozwoliłoby na to, by całkowitym bilansem anihilacji był neutralny foton.

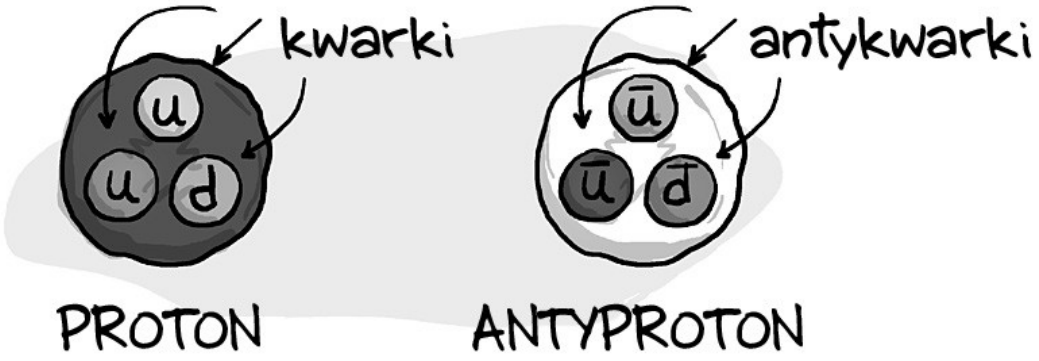
A ładunek elektryczny to nie jedyne, co – jak zaobserwowaliśmy – zostaje zachowane. Być może zastanawiasz się, czy dowolne dwie cząstki o równym, ale przeciwnym ładunku mogą się nawzajem anihilować (na przykład elektron o ładunku −1 oraz antymion o ładunku +1). Ale odpowiedź brzmi: nie. Wydaje się, że w naszym wszechświecie obowiązuje jeszcze jedna zasada dotycząca ścierania się cząstek: zachowana musi zostać „elektronowość” i „mionowość”. Nie można zniszczyć elektronu przy użyciu nieelektronu. To działa tylko z udziałem jego antycząstki, pozytonu[7]. To samo dotyczy kuzynów elektronu: mionu i taonu.

I nie koniec na tym. Jest cała lista zachowywanych wielkości (takich jak zachowanie liczby cząstek złożonych z trzech kwarków, inaczej „trójkwarkowość”)[8], przy czym wszystkie one pochodzą z obserwacji na temat tego, które oddziaływania między cząstkami zachodzą, a które nie. Te zasady wydają się ograniczać całkowitą anihilację do ścierania się tylko cząstek z ich antycząstkami.

Dlaczego we wszechświecie panują te dziwaczne zasady? Nie wiemy. Może pewnego dnia będziemy w stanie wykazać, że są one naturalną konsekwencją jakiejś prostszej, zupełnie podstawowej teorii cząstek. Tymczasem jednak z pewnością wskazują one na to, że antycząstki skrywają ważne wskazówki na temat podstawowych zasad wszechświata.

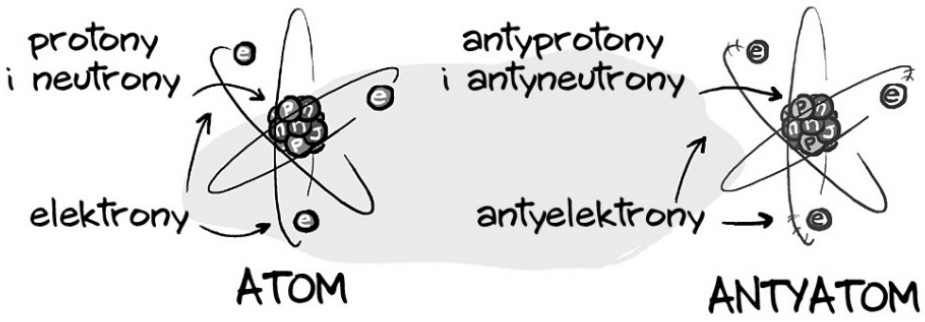
Anty-ty

A zatem antycząstki to zagadkowe bliźnięta cząstek, z którymi dokonują wzajemnej anihilacji, niczym maluteńcy zawodnicy mieszanych sztuk walki w pojedynku na śmierć i życie. Nie wiem, czy mi uwierzysz, ale dalej robi się jeszcze ciekawiej.



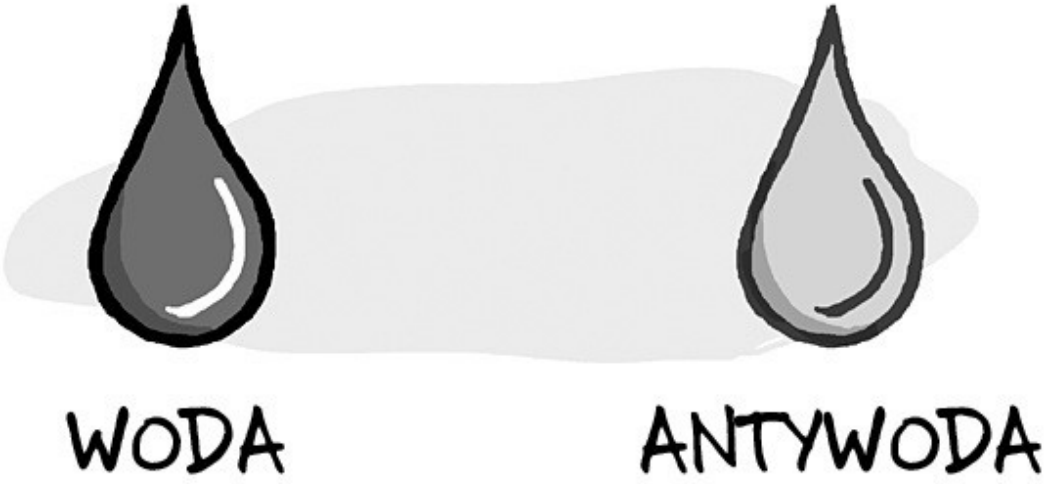
Okazuje się, że antycząstki potrafią gromadzić się w dokładnie taki sam sposób jak zwykłe cząstki i tworzyć antywersje bardziej złożonych cząstek, na przykład neutronów i protonów. Można na przykład stworzyć antyneutron, łącząc ze sobą dwa antykwarki dolne i jeden antykwark górny. Powstały antyneutron pozostaje elektrycznie neutralny (jak neutron), ale jego wnętrze składa się z antycząstek. Można też stworzyć antyproton, łącząc ze sobą dwa antykwarki górne i jeden antykwark dolny. Antyproton jest podobny do protonu – z tą różnicą, że ma ujemny ładunek, ponieważ jego wnętrze również składa się z antycząstek.

A dalej jest jeszcze dziwniej. Skoro masz już antyelektrony, antyprotony i antyneutrony, kto wie, czy nie mógłbyś spróbować stworzyć antyatomów! Dodatni elektron i ujemny proton zachowywałyby się tak jak ich zwykłe odpowiedniki, tyle że miałyby odwrócone ładunki. Gdybyś połączył antyelektron z antyprotonem, antyelektron krążyłby po orbicie wokół antyprotonu i uzyskałbyś antywodór!



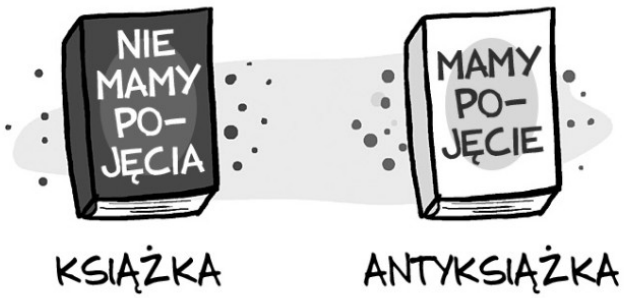
Teoretycznie rzecz biorąc, jeśli połączysz razem wystarczająco dużo antycząstek, możesz stworzyć antywszystko. Na przykład może mógłbyś połączyć dwa antywodory z jednym antytlenem i uzyskać anty-H_2O, czyli antywodę. Antywoda wyglądałaby i zachowywała się w ten sam sposób co

zwykła woda, tyle że gdybyś ją wypił, eksplodowałbyś w oślepiającym błysku światła, co – musimy przyznać – byłoby antyorzeźwiające.



Ale dlaczego się na tym zatrzymywać? Skoro mógłbyś stworzyć antywodę, niewykluczone, że mógłbyś także stworzyć antywersje każdego atomu i każdej cząsteczki. Może nawet antychemię, antybiałka i anty-DNA.

Mogłaby istnieć całkiem inna Ziemia albo całkiem inny ty, który wyglądałby dokładnie jak ty, tyle że składałby się z antymaterii. Anty-on (lub anty-ona) mógłby jeździć antysamochodem i mieszkać w antydomu, a nawet czytać antywydanie tej książki, która byłaby wydrukowana na antypapierze i pełna żartów, które naprawdę byłyby zabawne[9].



Tak naprawdę nie ma niczego zasadniczo „materiowego” w naszym rodzaju materii i nie ma niczego „antymateriowego” w antymaterii. Gdyby sytuacja była odwrotna i jakimś cudem składalibyśmy się z tego, co nazywamy antycząstkami, to pewnie właśnie antycząstki nazywalibyśmy „materią”, a te zwykłe „antymaterią” – ponieważ te nazwy można ustalić całkiem dowolnie. Innymi słowy, to my moglibyśmy być tymi złymi bliźniakami! (Wchodzi muzyka zwiastująca tragiczne wydarzenie). Czyż nie byłoby to jedyne w swoim rodzaju zaskakujące zakończenie?

Oczywiście to długie mówienie o antycząstkach i antymaterii każe postawić pytanie: gdzie jest ta cała antymateria?

Tajemnice antymaterii

Wiemy, że antycząstki istnieją, a równanie Diraca świetnie opisuje ich zachowanie przy wysokich prędkościach. Nie znaczy to jednak, że je do końca rozumiemy. W rzeczywistości to dziwne zjawisko naszego wszechświata prowokuje więcej pytań, niż daje odpowiedzi.

Na przykład: dlaczego antycząstki istnieją? Wymaga ich nasza współczesna teoria cząstek, ale można by sobie wyobrazić inne teorie, które obejmowałyby więcej rodzajów dziwacznych bliźniąt (może złe trojaczki albo nikczemne czworaczki).

Kolejne pytania to między innymi: czy antycząstki są dokładnym przeciwieństwem zwykłych cząstek, czy też istnieją między nimi jakieś subtelne różnice w zakresie zachowania, struktury, smaku albo ulubionej czekolady? Czy antycząstki doznają grawitacji w ten sam sposób co cząstki, czy też doznają jej odwrotnie?

Ale największe z tych pytań jest proste: dlaczego nasz świat składa się z materii, a nie z antymaterii?

Dlaczego wszechświat, a nie antywszechświat?

Istnieje jedna bardzo duża, bardzo ważna i bardzo oczywista różnica między materią a antymaterią: materia jest wszędzie, a antymaterii nie można znaleźć prawie nigdzie. Zgadza się: jak się wydaje, we wszechświecie jest dużo więcej materii niż antymaterii.

Skoro materia i antymateria są jednakowymi, lecz przeciwnymi wersjami siebie nawzajem, to spodziewalibyśmy się, że podczas Wielkiego Wybuchu została stworzona ta sama liczba cząstek i antycząstek. Ale poprowadźmy ten scenariusz przez chwilę dalej i zobaczmy, do czego nas doprowadzi: gdyby dla każdej zwykłej cząstki została stworzona antycząstka, to w końcu wszystkie cząstki spotkałyby swoje antycząstki i anihilowałyby się wzajemnie, przemieniając całą materię i antymaterię we wszechświecie w fotony. Wiemy, że tak się nie stało – ponieważ żyjesz i czytasz tę książkę, a raczej nie masz wątpliwości co do tego, że nie jesteś ze światła[10]. Dlatego musi być jakiś powód, dla którego materia ma pierwszeństwo nad antymaterią.

Są dwie (przynajmniej) możliwości wyjaśnienia tej nierównowagi:

Możliwość numer 1

Podczas Wielkiego Wybuchu powstało nieco więcej materii niż antymaterii. I wprawdzie ogromna większość materii i antymaterii anihilowała się, ale ta resztka materii, która pozostała, kiedy zużyła się już cała antymateria, dała

początek tworzeniu się wszystkich istniejących dzisiaj galaktyk, gwiazd, ciasta czekoladowego i ciemnej materii.

Ta możliwość wyjaśnia to, co widzimy, ale podchodzi do istoty problemu z innej strony. Zamienia pytanie: „Dlaczego dzisiaj wszechświat składa się z materii, a nie z antymaterii?”, na inne, równoważne: „Dlaczego wszechświat zaczął istnieć z większą ilością materii niż antymaterii?”. Niestety nie mamy pojęcia, jak na nie odpowiedzieć. (W dodatku większość współczesnych teorii na temat wczesnego wszechświata przeczy jakiejkolwiek asymetrii w początkowym wytwarzaniu materii i antymaterii).

Możliwość numer 2

Podczas Wielkiego Wybuchu powstała taka sama ilość materii i antymaterii, ale z czasem coś w samych cząstkach sprawiło, że jest więcej materii niż antymaterii.

Jest to możliwe, jeśli istnieją reakcje fizyczne, które szybciej niszczą antymaterię niż materię albo tworzą więcej materii niż antymaterii.

Ponieważ cząstki tworzą się i niszczą cały czas, nawet bardzo niewielka różnica w sposobie, w jaki to robią, mogłaby przyczynić się z czasem do powstania olbrzymiego braku równowagi[11].

A zatem możliwość numer 2 wydaje się obiecująca. Jakie jednak może być prawdopodobieństwo, że we wszechświecie istnieje jakaś nieodłączna skłonność do faworyzowania tworzenia lub zachowywania materii względem antymaterii?[12] W większości fizyka jest całkowicie symetryczna. A z tego, co wiemy, wszystko, co potrafią zwykłe cząstki, (anty)potrafią również antycząstki. Na przykład neutron może rozpaść się na proton, elektron i antyneutrino (ta przemiana jądrowa nazywa się rozpadem beta i dokonuje się cały czas). W dokładnie ten sam sposób antyneutron może się rozpaść na antyproton, antyelektron i neutrino.

Może to faworyzowanie materii jest bardzo słabe. Badając kreację i anihilację cząstek, fizycy poszukują niewielkich zaburzeń równowagi w oscylacji cząstek między dwiema ich odmianami: w materii i w antymaterii. Niestety, mimo że istnieją ślady pewnego braku równowagi, nie są one na tyle duże, by można im było przypisać tę ogromną dysproporcję, którą obserwujemy dziś.

A zatem musi być coś innego, co może wyjaśniać ilościową przewagę materii nad antymaterią. Cokolwiek to jest, może nam również podpowiedzieć, dlaczego w ogóle istnieją dwie klasy cząstek. Ale jak dotąd nie mamy pojęcia, co to takiego.

Zaraz, może antymateria jest gdzie indziej

Może źle na to wszystko patrzymy. A może we wszechświecie faktycznie istnieje równa ilość materii i antymaterii, tyle że jest ona rozdystrybuowana po różnych jego obszarach? Ziemia i jej bezpośrednie okolice składają się na pewno z materii, ale może istnieją gdzieś inne miejsca składające się z antymaterii?

Materia i antymateria są tak podobne, że na podstawie samego dochodzącego z jakiejś odległej gwiazdy światła nie jesteśmy w stanie rozróżnić, czy składa się ona z materii czy z antymaterii. W obu typach gwiazd zachodziłyby te same reakcje jądrowe i oba w ten sam sposób tworzyłyby obdarzone jednakową energią fotony.

Zacznijmy więc może szukać gdzieś bliżej. Wiemy, że na Ziemi nie ma znacznych ilości antymaterii, ponieważ Ziemia składa się z materii, a zatem każda ilość antymaterii na niej reagowałaby eksplozją. Pójdźmy o krok dalej: czy gdzieś w kosmosie w pobliżu Ziemi mogłyby znajdować się wielkie regiony z antymaterią? Może któraś z planet w naszym Układzie Słonecznym składa się z antymaterii?

Na pewno nie! Pamiętaj, co się dzieje, kiedy materia styka się z antymaterią: takie połączenie jest bardziej wybuchowe niż rozmowy o polityce przy rodzinnym stole. Gdyby na przykład Księżyc składał się z antymaterii, wówczas za każdym razem, ilekroć trafiałby w niego meteor składający się z materii, dochodziłoby do olbrzymiej eksplozji i gigantycznego błysku światła. Meteor wielkości rodzynka wywołałby równie spektakularną eksplozję co wybuch bomby atomowej. A Ziemię i Księżyc ustawicznie bombardują składające się z materii meteory, małe i duże, wobec tego wiemy przynajmniej tyle, że Księżyc nie jest z antysera.

Ten sam argument dotyczy Marsa i pozostałych planet Układu Słonecznego. Gdyby Mars składał się z antymaterii, cały czas obserwowalibyśmy pochodzące z eksplozji fotony. W rzeczywistości gdyby w pobliżu jakiegokolwiek obszaru obfitującego w materię istniało znaczne skupisko antymaterii, na granicy między obszarem z materią a tym z antymaterią byłoby nieustannie widać anihilacje i uwalnianie fotonów. Niczego takiego w okolicy nie zaobserwowaliśmy, dlatego mamy pewność, że Układ Słoneczny składa się z materii.

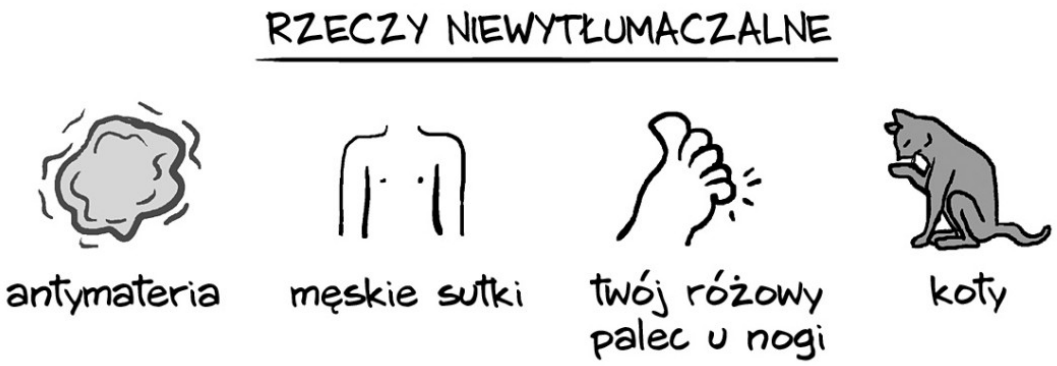
Co więcej, pamiętaj, że wysyłamy różne obiekty wykonane z materii (w tym ludzi) w przestrzeń kosmiczną, by badać Układ Słoneczny, i żaden z nich nie został natychmiast anihilowany w olśniewających rozbłyskach światła[13].

Astronomowie rozszerzyli te poszukiwania, wypatrując w naszej galaktyce całych układów planetarnych składających się z antymaterii. Na razie nie dostrzegliśmy jasnych rozbłysków fotonów, do których dochodziłoby na powierzchni styku między obszarami materii i antymaterii. Badacze wzięli nawet pod uwagę możliwość istnienia całych galaktyk z antymaterii. Gdyby jednak istniały, widzielibyśmy, jak część kosmosu między galaktykami z materii a galaktykami z antymaterii rozjaśnia zachodząca na ich pograniczu anihilacja cząstek. Badania przeprowadzone dotychczas za pomocą tej metody są obecnie rozstrzygające i dają astronomom pewność, że cała nasza gromada galaktyk bez wyjątku składa się z materii.

TO, ŻE NIE WIDZIMY WSZĘDZIE GIGANTYCZNYCH EKSPLOZJI, ZNACZY, ŻE W KOSMOSIE NIE MA WIELKICH OBSZARÓW ANTYMATERII

Jak dotąd to jest granica naszej bezpośredniej obserwacji. Na temat tego, co znajduje się dalej, nie mamy pewności, ponieważ obszary pustki między gromadami galaktyk są na tyle duże, że gdyby gdzieś tam znajdowała się granica między materią a antymaterią, byłaby zbyt słabo widoczna.

Mimo to wydaje się prawdopodobne, że reszta wszechświata również składa się z materii. Wszechświat zorganizowany w skupiska galaktyk z materii oraz galaktyk z antymaterii wymagałby tego, by materia i antymateria na początku wszechświata były od siebie znacznie oddzielone, a to kazałoby postawić całkiem nowy zestaw pytań.



Podsumujmy: nie mamy dowodu na istnienie gdziekolwiek w widzialnym wszechświecie dużych skupisk antymaterii. Wobec tego pytanie, dlaczego widzimy tylko materię, a antymaterii nie, pozostaje otwarte.

Neutralna materia

Czy każda cząstka ma swoją antycząstkę? Jak dotąd każda cząstka obdarzona ładunkiem elektrycznym ma swoją własną antycząstkę. Ale w odniesieniu do cząstek neutralnych odpowiedź nie jest już tak oczywista.

Nie istnieje na przykład antywersja fotonu (który nie ma ładunku), tzn. antyfoton. Niektórzy próbują twierdzić, że foton sam jest własną antycząstką, ale to wydaje się raczej unikiem niż próbą faktycznego udzielenia odpowiedzi na to pytanie (no bo skoro człowiek sam jest swoim najlepszym przyjacielem, to przecież nie znaczy, że nie ma innych przyjaciół). To samo dotyczy bozonu Z oraz gluonu. Być może zauważyłeś, że wszystkie te cząstki są nośnikami oddziaływań, ale obdarzone ładunkiem cząstki W również są nośnikami oddziaływań, a mają swoje antycząstki. Dlaczego niektóre cząstki mają antycząstki, a inne nie? Nie mamy pojęcia.

Fizycy uważają, że neutrino (które ma zerowy ładunek elektryczny) prawdopodobnie ma swoją antycząstkę o przeciwnym ładunku oddziaływania słabego (hiperładunku). Ale neutrina to tajemnicze małe cząstki, które trudno badać, dlatego możliwe, że neutrino jest też własną antycząstką.

W jaki sposób możemy badać antymaterię?

To fascynujące: pomyśleć, że moglibyśmy tworzyć antyprzedmioty z antycząstek. Byłaby to super zabawa, ale też coś bardzo pouczającego: moglibyśmy dowiedzieć się, w czym antymateria różni się od zwykłej materii, co mogłoby pomóc wyjaśnić, dlaczego antymateria istnieje.

Niestety przeprowadzanie doświadczeń z antyprzedmiotami (składającymi się z antycząstek) jest w najwyższym stopniu trudne.

Już tworzenie przedmiotów ze zwykłej materii jest dość trudne (do zrobienia ciasta czekoladowego potrzeba 10^{25} protonów, 10^{25} elektronów i mnóstwa miłości), a nie musimy przy tym martwić się, że nasz cukierniczy projekt eksploduje, gdy zetknie się choćby z jedną cząstką normalnej materii.

W wypadku antymaterii badaczom dopiero niedawno udało się nakłonić antyprotony i antyelektrony do na tyle składnej współpracy w warunkach laboratoryjnych, by móc utworzyć z nich atom antywodoru. W 2010 roku naukowcy zdołali wytworzyć kilkaset takich atomów i uwięzić je na jakieś dwadzieścia minut[14]. Formalnie rzecz biorąc, robi to ogromne wrażenie, ale wciąż nie wystarcza, by odpowiedzieć na wszystkie pytania o antymaterię. Wyobraź sobie, jak mało dowiedziałbyś się o naszym wszechświecie, gdyby pozwolono ci zaledwie przez kilka minut popatrzeć na garstkę atomów wodoru.

Dokonujemy więc naprawdę ogromnego postępu, ale pewnie nie dowiemy się więcej, jeśli nie opanujemy znacznie lepiej tworzenia antymaterii i bezpiecznego jej przechowywania. Obecnie w CERN-ie potrafimy wyprodukować ledwie parę pikogramów antymaterii rocznie, co oznacza, że potrzebowalibyśmy milionów lat na stworzenie odpowiednika połówki rodzynka antymaterii. A nawet wówczas musielibyśmy wynaleźć

jakiegoś rodzaju bezstykowy pojemnik – wykorzystujący być może pole elektromagnetyczne.

Ciekawa materia

Wiemy zatem na pewno kilka rzeczy o antymaterii. Wiemy, że istnieje, że ma ładunek przeciwny niż materia i że kiedy styka się z materią, anihiluje się z nią, zmieniając się w światło. Nie jesteśmy zatem pogrążeni w kompletnych ciemnościach.

Ale to, co rozumiemy, przyćmiewają rzeczy, których o antymaterii nie wiemy. Przede wszystkim nie wiemy, dlaczego antymateria istnieje. Czy jest wskazówką na temat sposobu uporządkowania materii? Czy mogłyby istnieć inne postaci materii? I choć wydaje się, że materia i antymateria wykazują mnóstwo cech wynikających z symetrii, wszechświat na pewno faworyzuje materię.

Wszystkie te pytania mogą powodować, że będziesz patrzeć na antymaterię nieufnie. To oczywiste, że nie chcesz jej dotykać, ale pomyśl o wszystkich tych superfajnych rzeczach, których możemy się dzięki niej dowiedzieć.

Na przykład wciąż nie znamy odpowiedzi na ogromnie ważne pytanie: czy antycząstki doznają grawitacji w ten sam sposób co cząstki materii?

Chociaż wiemy, że antymateria istnieje, a powszechnie przyjęta teoria przewiduje, że poddaje się grawitacji dokładnie tak samo jak normalna materia, w rzeczywistości nie byliśmy w stanie zaobserwować wystarczająco dużych jej ilości, by odpowiedzieć na to podstawowe pytanie. Grawitacja jest tak słabym oddziaływaniem, że aby ją zmierzyć, potrzeba bardzo dużo cząstek. Antymateria jest tak rzadka i niestabilna, że doświadczenia grawitacyjne z nią są prawie niemożliwe.

A może antymateria doznaje grawitacji inaczej niż zwykła materia? Pamiętaj, że cechą definiującą antycząstki jest to, że ich ładunki elektryczne oraz ładunki oddziaływania słabego i silnego są odwrócone. Czy to możliwe, by cząstki antymaterii miały także odwrócony „ładunek grawitacyjny”? Czy antymateria mogłaby doznawać grawitacji w przeciwną stronę? Wyobraź sobie, co by się stało, gdyby tak było i jakoś udałoby się nam posiąść sztukę wytwarzania oraz wykorzystywania antymateriałów o tej „antygrawitacyjnej” właściwości. Wszystkie te latające samochody

i antygrawitacyjne buty, o których marzyłeś w dzieciństwie, mogłyby naprawdę stać się rzeczywistością!

Jeśli tak się stanie, być może zechcemy zmienić nazwę „antymateria” na „arcymateria”.

---

[1] Jedno sobie wyjaśnijmy: przecież to nie wina fizyki, że matematyka ciągle zostawia pyszne ciasto czekoladowe na górnej półce, i to na całe dnie.

[2] „Czy mam przyrównać cię do sumy nieskończonej dni letnich?” – z *Wierszy zaginionych* Izaaka Newtona.

[3] Zwróć uwagę, że Dirac połączył mechanikę kwantową ze szczególną teorią względności, zajmującą się cząstkami poruszającymi się z prędkością zbliżoną do prędkości światła w płaskiej przestrzeni, a nie z ogólną teorią względności, zajmującą się cząstkami poruszającymi się w przestrzeni zniekształconej przez duże masy. To pozostaje zagadką.

[4] Co jeszcze bardziej szalone, równania te sprawdzają się również w odniesieniu do elektronu z normalnie ujemnym ładunkiem, ale poruszającego się wstecz w czasie.

[5] Oprócz oczywistego powodu, jakim jest zwiększenie oglądalności.

[6] Jeśli nie liczyć ognia, który jest chemiczną zamianą zmagazynowanej energii w światło.

[7] Albo z neutrinem elektronowym, które również ma elektronowość. Elektron plus antyneutrino elektronowe mogą dać w wyniku bozon W.

[8] Cząstki o trzech kwarkach (na przykład protony i neutrony) są nazywane barionami, wobec czego „trójkwarkowość” zazwyczaj wiąże się z tak zwaną liczbą barionową.

[9] I byłyby w niej antyprzypisy, numerowane od końca.

[10] Jesteś fantastyczny, ale nie aż tak.

[11] Wszechświat nie ma wakacji. Nigdy.

[12] A jeśli myślisz, że asymetria w tworzeniu oraz niszczeniu materii i antymaterii jest równie dziwna co początkowa asymetria w ilości materii i antymaterii stworzonej w czasie Wielkiego Wybuchu, to masz słuszność. Ale w tej pierwszej sytuacji bylibyśmy w stanie dzisiaj ją sprawdzać i badać.

[13] Jak dotąd!

[14] W naukowych jednostkach czasu jest to równoważne 1,0 przerwy na kawę.

13

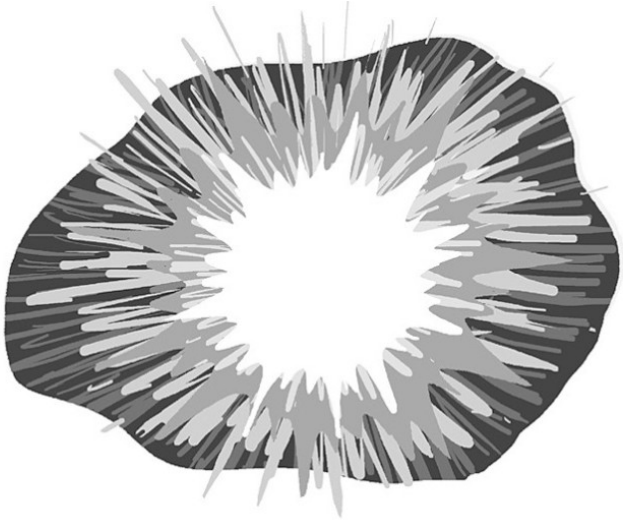
Co się stało z rozdziałem 13?

Nie mamy pojęcia.

14

Co się stało podczas Wielkiego Wybuchu?

I co było przed nim?



Czy zaciekawiłoby cię, gdyby ktoś powiedział, że urodziłeś się w tajemniczych okolicznościach? Czy nie zaniepokoiłbyś się, gdyby ktoś oznajmił, że pojawiłeś się na Ziemi nagle jako niemowlę i nikt nie wie, czy zostałeś wyhodowany w probówce, zmontowany w fabryce, czy może powołany do istnienia przez kosmitów?

Wiedza o tym, skąd pochodzisz i jak przyszedłeś na świat, jest nieodłączną częścią twojej tożsamości. Świadomość, że zostałeś poczęty i urodziłeś się, zapewne usadowiła się wygodnie gdzieś z tyłu twojej głowy, dzięki czemu nie niepokoisz się, czy to normalne, że jesteś w tym miejscu, bo wiesz, że stanowisz część pewnej szerszej historii.

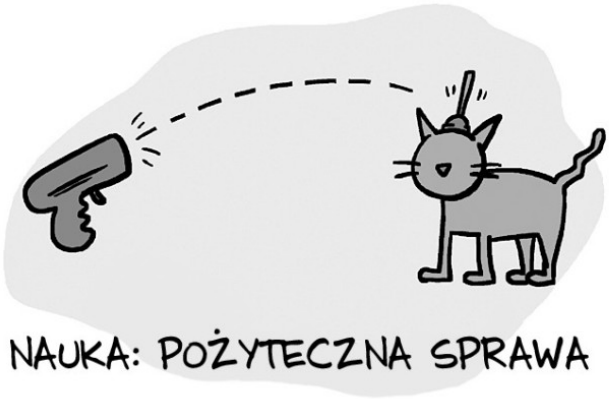
Ale z wszechświatem tak nie jest.

Nasz wszechświat zaczął istnieć jakieś 14 miliardów lat temu (później wyjaśnimy, skąd to wiemy), a gdyby powiedzieć, że doszło do tego w tajemniczych okolicznościach, byłoby to zapewne największym niedopowiedzeniem w dziejach. Naukowcy uważają, że wiedzą, co stało się tuż po narodzinach wszechświata – chodzi o potężną rozszerzającą się eksplozję zwaną Wielkim Wybuchem – ale bardzo niewiele wiedzą o samej chwili tych narodzin, o tym, co je spowodowało oraz co (jeśli w ogóle cokolwiek) działo się przedtem.

W tym rozdziale powiemy o wszystkim, co wiemy o tym nadzwyczajnym wydarzeniu, i o tym, czego o nim nie wiemy. Uwaga, spoiler: przypuszczalnie wszechświat nie został wyhodowany w probówce.

Skąd w ogóle cokolwiek wiemy o Wielkim Wybuchu?

W tego rodzaju sytuacjach pomaga przypomnienie sobie o granicach nauki. Nauka to całkiem przydatne narzędzie do odpowiadania na wiele różnego rodzaju pytań, ale ma swoje ograniczenia. A mianowicie teorie naukowe muszą formułować sprawdzalne przewidywania, które można potwierdzić za pomocą doświadczeń. Jeśli na przykład tworzysz jakąś teorię na temat zachowania swojego kota, możesz ją sprawdzić, strzelając do niego z pistoletu Nerf i patrząc, jak kot reaguje.



Jeśli jakiejś teorii nie da się sprawdzić doświadczalnie, to wchodzi ona w zakres filozofii, religii albo czystej spekulacji. Ktoś na przykład mógłby wysunąć teorię, że gdzieś daleko w kosmosie, między naszą Galaktyką a Galaktyką Andromedy, unosi się maleńki różowy pluszowy kotek. Jest to solidna fizyczna teoria, ale technika, którą obecnie dysponujemy, sprawia, że nie sposób ją zweryfikować. Nie jest to zatem pogląd naukowy, a zwolennicy istnienia Kotka z Głębin Kosmosu muszą się opierać na wierze lub innych argumentach.

Wielokrotnie w dziejach bywało tak, że teorie przekraczały granicę między tym, co nienaukowe, a tym, co naukowe. Pogląd, że materia składa się z maleńkich atomów, istniał na długo przed tym, jak posiedliśmy techniczne możliwości, by te atomy wykryć. Tego rodzaju zagadnienia przechodziły z filozofii do nauki dzięki tworzeniu nowych narzędzi o większych możliwościach poznawczych.

Tak właśnie jest z Wielkim Wybuchem.

Jeszcze do niedawna mówienie o pierwszych chwilach wszechświata byłoby czystą spekulacją. No bo jak można badać coś, co wydarzyło się 14 miliardów lat temu? A co ważniejsze, jak przeprowadzić doświadczenia, by zweryfikować swoje teorie? Przecież dla naukowej wygody nie możemy powtórzyć Wielkiego Wybuchu.

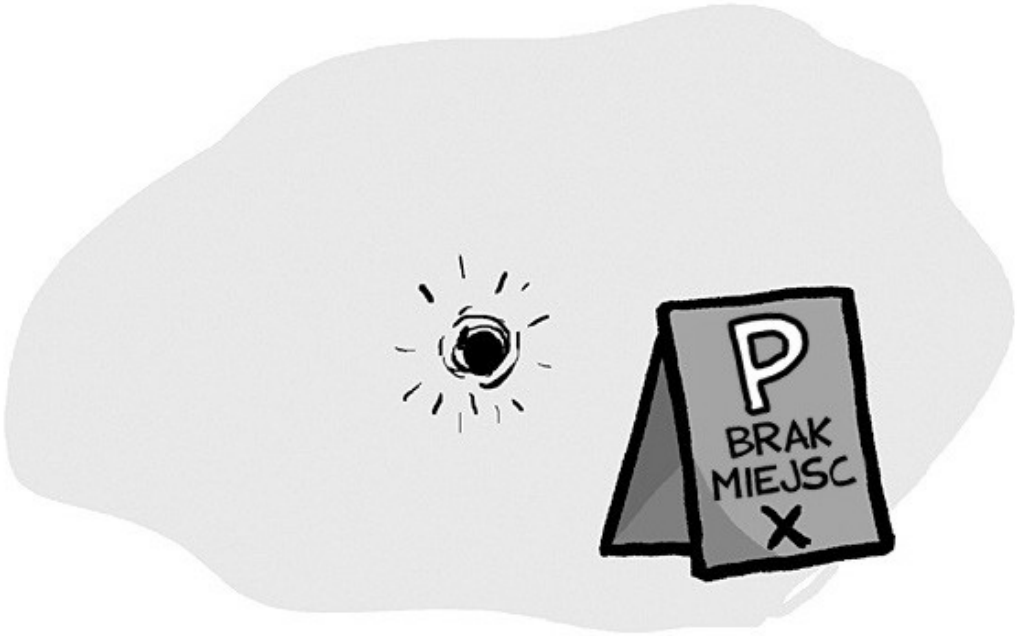
Na szczęście Wielki Wybuch zostawił po sobie ogromny bałagan. Istnieją kosmiczny gruz i najrozmaitsze wskazówki, które możemy szczegółowo analizować. A w ostatnim półwieczu nasze technika, matematyka i teorie fizyczne doszły w swoim rozwoju do etapu, na którym zaczęliśmy przesuwać pytanie o to, co zdarzyło się podczas Wielkiego Wybuchu, do kategorii nauki. Możemy sprawdzać teorie na temat Wielkiego Wybuchu w takim zakresie, w jakim ich przewidywania dotyczą rzeczy odnajdywanych przez nas w kosmicznym gruzie; traktujemy to jako przewidywania, mimo że same wydarzenia miały miejsce dawno temu.

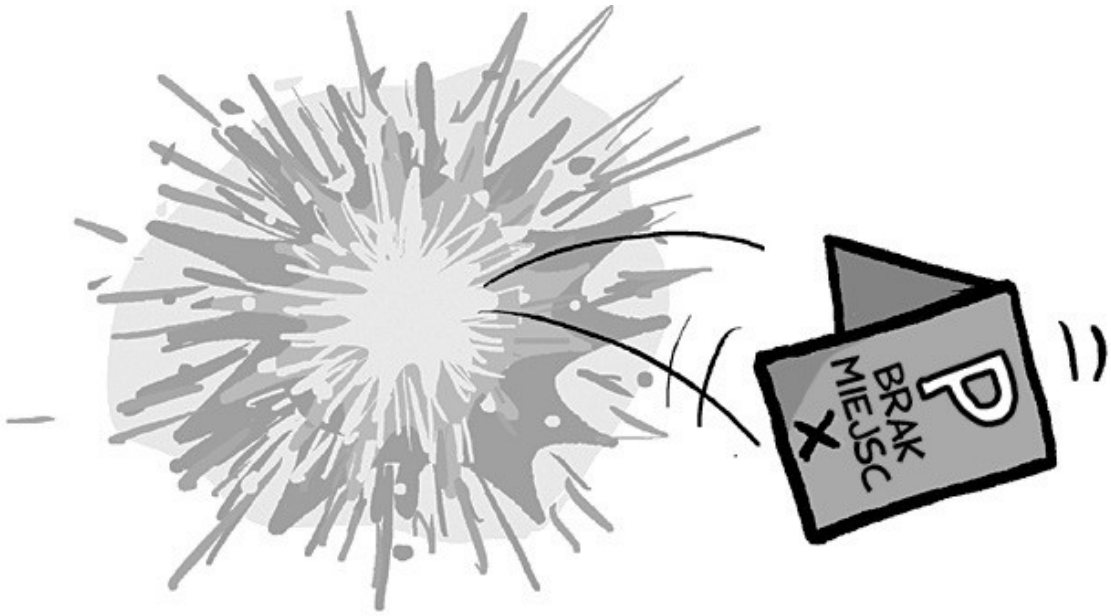
Ale sama ta zdolność nie znaczy, że wiemy wszystko o Wielkim Wybuchu, a szczególnie o tym, co go poprzedzało. Aby zrozumieć, czego

o Wielkim Wybuchu nie wiemy, pomówmy najpierw o tym, co o nim wiemy.

Co wiemy o Wielkim Wybuchu?

Pomysł Wielkiego Wybuchu pojawił się na początku XX wieku, kiedy naukowcy odkryli, że wszystkie galaktyki, które widzimy, oddalają się od nas, co znaczy, że wszechświat się rozszerza.





Kosmologowie próbowali zrozumieć tę obserwację, zastanawiając się nad nowymi równaniami ogólnej teorii względności Einsteina, które opisują, w jaki sposób działają przestrzeń, czas i grawitacja. Ustalili, że te równania mogą równie dobrze opisywać rozszerzający się wszechświat. Zauważyli jednak coś dziwnego. Jeśli cofniemy się w czasie tak daleko, jak to tylko możliwe, i spróbujemy prześledzić przy tym rozszerzanie się wszechświata, okaże się, że te równania przewidują coś niemal całkowicie obcego naszej intuicji: cały wszechświat zawarty w jednym punkcie, osobliwość, której masa jest olbrzymia, objętość zerowa, gęstość nieskończona, a parkowanie na jej obszarze niemożliwe.

Ten rozwój od maleńkiego ziarenka do rozległego i okazałego wszechświata, jaki widzimy dzisiaj, nazywamy Wielkim Wybuchem – to początek naszego wszechświata.

Większość ludzi, którzy słyszeli o Wielkim Wybuchu, wyobraża go sobie pewnie jako eksplozję, podobną do tego, co dzieje się podczas wybuchu bomby. Myślą, że przed Wielkim Wybuchem cała materia we wszechświecie była ściśnięta w bardzo małej objętości, a po wybuchu

wyleciała na zewnątrz w kosmos, dając w efekcie wszechświat, który oglądamy dzisiaj.

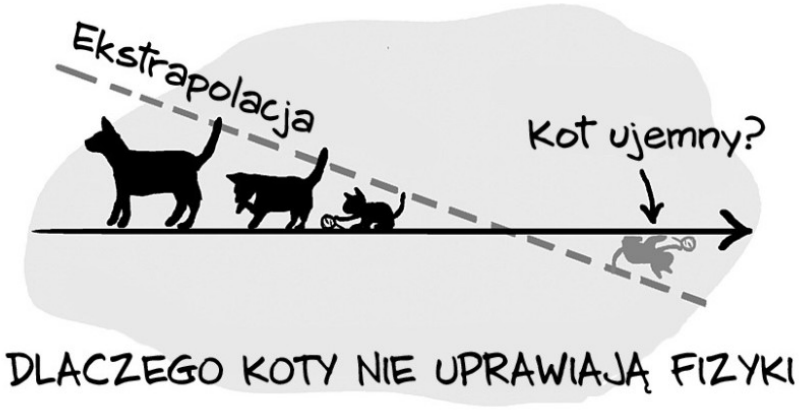
Jeśli jednak trudno ci uwierzyć, że wszystko, co teraz istnieje, było stłoczone w jednym nieskończenie małym punkcie, a następnie eksplodowało na zewnątrz, to masz rację. Historia tego, co wydarzyło się w czasie Wielkiego Wybuchu, jest dużo bardziej skomplikowana, pełno w niej niewyjaśnionych do dziś tajemnic. Czytaj dalej, a dowiesz się, jakie to tajemnice.

Wielka tajemnica numer 1
Grawitacja kwantowa

Zacznijmy od początku. Czy to ma sens, że nasz wszechświat był kiedyś jednym nieskończenie małym punktem? Czy cała ta masa rzeczy, które istnieją dzisiaj, kiedyś była w dokładnie jednym położeniu, zgnieciona do zerowej objętości? Tak naprawdę – zgodnie z ogólną teorią względności – to ma sens.

Ale ogólną teorię względności wymyślono i opracowano, zanim stało się jasne, że w najmniejszej skali nasz wszechświat to osobliwe miejsce zamieszkane przez kwantowe obiekty stosujące się do dziwacznych, sprzecznych z intuicją i probabilistycznych zasad. Spodziewano się, że przewidywania ogólnej teorii względności zawiodą w odniesieniu do tak gęstej masy, do której opisu należało użyć mechaniki kwantowej. Czyli na przykład takiej, jaka występowała w pierwszych chwilach wszechświata, kiedy wszystko rzeczywiście było zgniecione w niewiarygodnie małej przestrzeni.

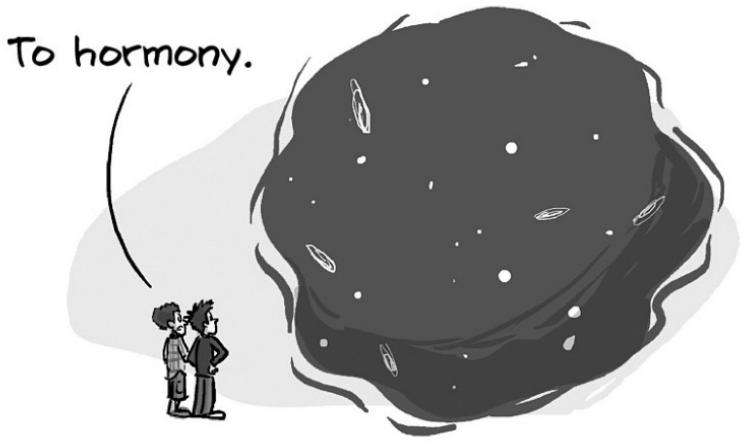
Czasem nie da się doprowadzić teorii aż do jej ostatecznych logicznych konkluzji. Wyobraź sobie, że zmierzyłeś, jak szybko rosną twoje koty, po czym próbujesz ekstrapolować ich wzrost wstecz w czasie. Gdybyś brał pod uwagę tylko wielkość, mógłbyś dojść do przewidywania, że twoje kocięta były kiedyś nieskończenie małymi kociaczkowymi osobliwościami albo – gdybyś całkowicie zignorował fizyczne granice – że kiedyś miały rozmiar ujemny. To by była… kotastrofa.



To samo dotyczy ogólnej teorii względności i Wielkiego Wybuchu. Ponieważ nie mamy kwantowej teorii względności, tak naprawdę nie wiemy, jak obliczyć lub przewidzieć, co działo się w bardzo wczesnym wszechświecie. Znaczy to, że obraz Wielkiego Wybuchu zaczynający się od osobliwości przypuszczalnie nie jest trafny; w tamtych pierwszych chwilach dominowały efekty grawitacji kwantowej, ale nie mamy pojęcia, jak je opisywać.

Wielka tajemnica numer 2
Wszechświat jest za duży

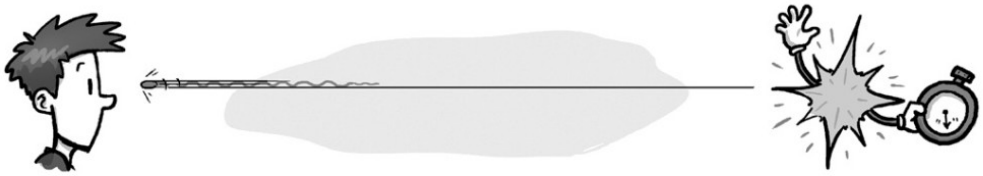
Z prostą wizją Wielkiego Wybuchu jako eksplozji małego pierwotnego samorodka wiąże się jeszcze inny problem. Nawet gdyby wszechświat rozwinął się z jakiegoś nieskończenie małego punktu albo malutkiej plamki kwantowej plamkowości, coś i tak nie całkiem pasuje do tego, co widzimy: wszechświat jest większy, niż powinien.



Aby to zrozumieć, pomyślmy najpierw, jak dużo wszechświata widzimy. Poza książką, którą trzymasz przed sobą, kotem na twoich kolanach, światem za oknem, pomyśl o odległych gwiazdach. Jak daleko mógłbyś sięgnąć wzrokiem, gdybyś miał potężny teleskop zdolny wychwycić światło docierające do nas z tych odległych gwiazd? Odpowiedź zależy od tego, jak stary jest wszechświat.

Jeśli coś widzisz, to znaczy, że wychwytujesz fotony, które rozpoczęły swą podróż od tej rzeczy, którą próbujesz zobaczyć, po czym pokonały całą drogę dzielącą ją od twojego oka (albo teleskopu). Ponieważ jednak istnieje pewne ograniczenie prędkości, z jaką te fotony mogą się przemieszczać (a mianowicie prędkość światła), to jeśli widzisz coś położonego naprawdę daleko, znaczy to, że od chwili wyemitowania fotonu do momentu wychwycenia go przez ciebie upłynęło mnóstwo czasu.

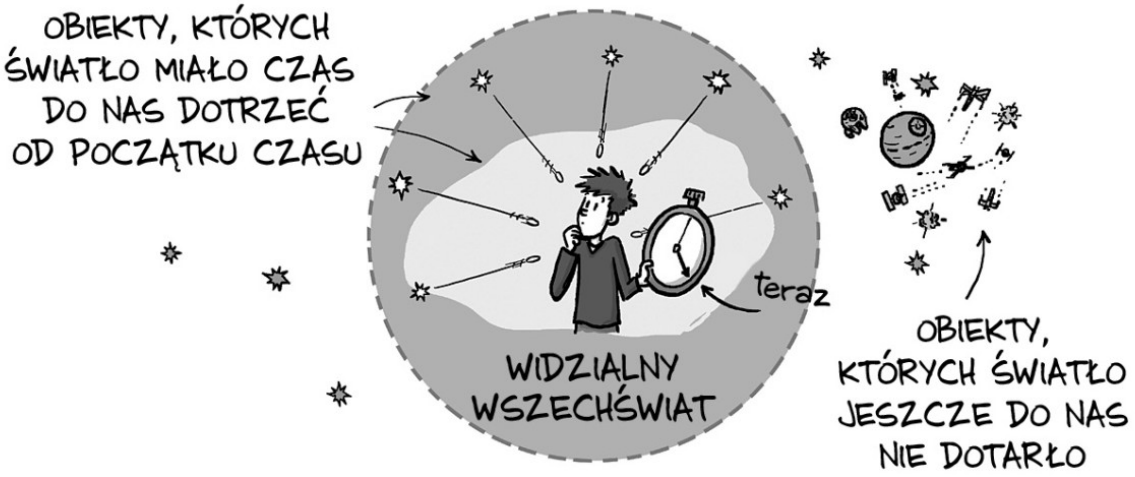
A zatem to, jak daleko możesz patrzeć, zależy od tego, ile czasu upłynęło od chwili, gdy zaczął się wszechświat.



Gdyby wszechświat zaczął się pięć minut temu, to najdalsze obiekty, które mógłbyś zobaczyć, znajdowałyby się w odległości równej pięć minut razy prędkość światła, czyli mniej więcej 90 milionów kilometrów[1]. Może i to dużo, ale znaczy tyle, że wzrokiem sięgałbyś zaledwie do Merkurego.

To jest „widzialny wszechświat”. Wszystko, co możesz zobaczyć, musi znajdować się wewnątrz sfery mającej środek w twojej głowie, a jej (sfery, nie głowy) promień jest równy odległości, którą było w stanie pokonać światło od narodzin wszechświata. Jeśli jakiś punkt na powierzchni tej sfery wysłał do ciebie foton w najwcześniejszym możliwym momencie, docierałby on dopiero teraz; to właśnie definiuje zasięg naszego widzenia.

Światło z gwiazd, planet i kotków poza tą sferą jeszcze do nas nie dotarło, więc nie dostrzeże go żaden teleskop. Nawet superjasna supernowa albo gigantyczny różowy kotek wielkości planety byłyby dla nas niewidzialne, gdyby znajdowały się poza tą sferą. Dziwna rzecz, ale to pojęcie przywróciło nam nasze dawne miejsce jako centrum widzialnego wszechświata, tyle że teraz każdy z nas jest w centrum swego własnego widzialnego wszechświata!



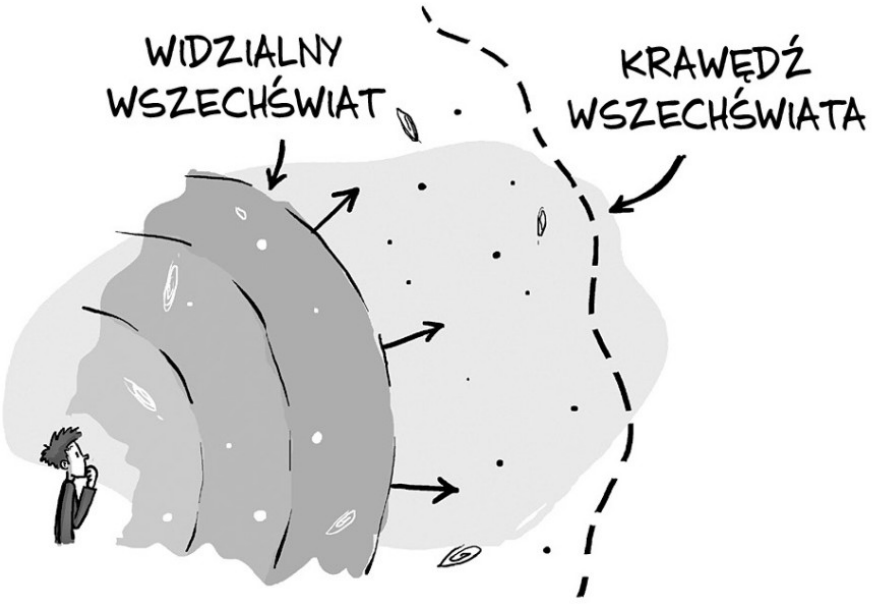
Im więcej czasu upływa, tym bardziej ta sfera rośnie i tym więcej wszechświata widzimy. Co roku możemy sięgać wzrokiem coraz dalej w kosmos, ponieważ dociera do nas światło z odleglejszych obiektów. A ta informacja dochodzi do nas z prędkością światła, co znaczy, że zakres naszego widzenia również rośnie w takim tempie.

Równocześnie jednak wszystko we wszechświecie się od nas oddala, trwa zatem wyścig między zakresem naszego widzenia a obiektami, w które celuje nasz teleskop. Jak bardzo wyrównany jest to wyścig? Zakres naszego widzenia rośnie z prędkością światła, natomiast materia we wszechświecie nie może (zgodnie z teorią względności) poruszać się w przestrzeni szybciej od tej prędkości.

Jeśli zatem wszystko we wszechświecie zaczęło się od maleńkiej, ale skończonej kwantowej kropki i po prostu porusza się w przestrzeni, rozchodząc się od miejsca Wielkiego Wybuchu, to nasz horyzont powinien poszerzać się szybciej, niż gwiazdy i kotki we wszechświecie mogą się od nas oddalać, dając nam coraz dalszy zasięg widzenia. Bardzo szybko, jeśli nie już, nasz horyzont byłby szerszy niż cały wszechświat.

Jak by to wyglądało? Kiedy nasz horyzont jest większy od wszechświata, znaczy to, że możemy patrzeć poza punkt, za którym nie ma

już gwiazd (czy raczej nie było gwiazd, ponieważ widzimy to, co zdarzyło się dawno temu). Patrzylibyśmy w miejsce, w którym niczego by nie było: tam, gdzie kończą się gwiazdy.



Ale w którąkolwiek stronę patrzymy, końca gwiazd nie widać. Wszechświat wciąż jest większy niż nasz horyzont, chociaż od jego początku upłynęło 14 miliardów lat. Najwyraźniej coś jest nie tak z wyobrażeniem, że wszystko we wszechświecie zaczęło się od małego kleksa i po prostu zaczęło się rozchodzić w statycznej przestrzeni[2]. A dalej jest jeszcze gorzej.

Wielka tajemnica numer 3
Wszechświat jest zbyt wyrównany

Z wyobrażeniem, że cała materia wszechświata po prostu oddala się od małego punktu, w którym wszystko się zaczęło w czasie Wielkiego

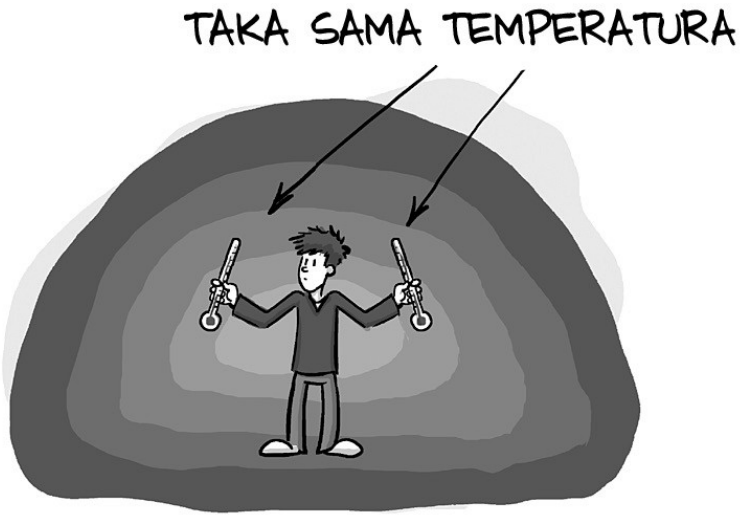
Wybuchu, wiążą się jeszcze inne problemy. A mianowicie na przykład to, że wszechświat jest zbyt „wyrównany”.

Być może wszechświat wydaje ci się niezwykle fantastyczny i chaotyczny, jednak w rzeczywistości widać w nim pewien rodzaj wszechobecnej jednorodności czy też jednolitości. A tę jednolitość możemy zobaczyć w mikrofalowym promieniowaniu tła, o którym pisaliśmy w rozdziale 3.

Aby to zrozumieć, spójrzmy na pewien przykład. Wyobraź sobie, że jesteś głodny (czytanie książek na temat fizyki spala mnóstwo kalorii – powiedz o tym znajomym) i postanowiłeś podgrzać sobie bułeczkę w kuchence mikrofalowej. Jak wszyscy wiemy, po paru chwilach środek twojej bułeczki porządnie się rozgrzeje, ale z zewnątrz pozostanie mniej gorąca.

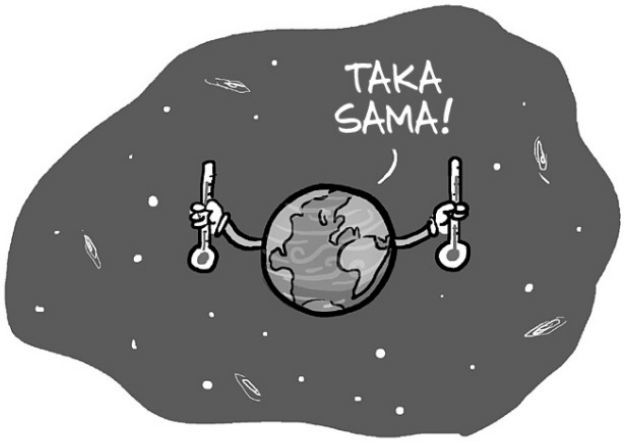
A teraz wyobraź sobie, że jesteś w środku bułki i mierzysz temperaturę otaczających cię pyszności z mikrofali.

Gdybyś stanął w samym środku bułki, przekonałbyś się, że temperatura ze wszystkich stron jest taka sama.



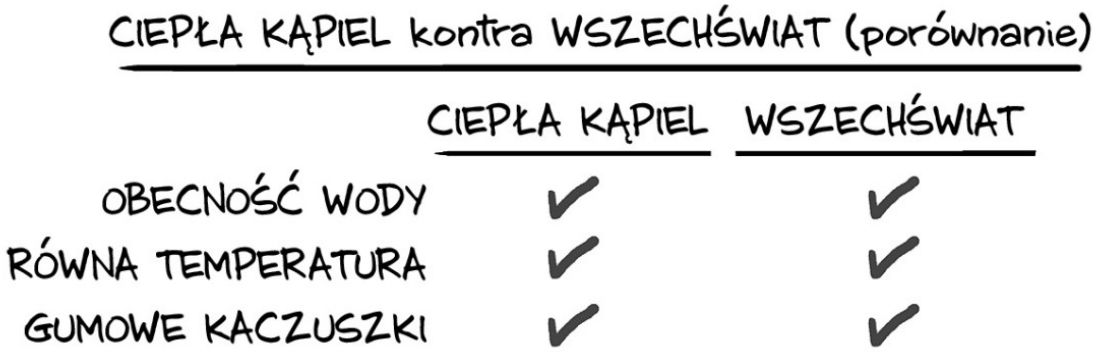
Ale teraz wyobraź sobie, że stoisz z boku, tuż przy środku bułki. Gdybyś zmierzył temperaturę od strony bliższej środka bułki, zobaczyłbyś, że jest tam naprawdę gorąco. Gdybyś jednak zmierzył temperaturę z drugiej strony, tej bliższej brzegu bułki, przekonałbyś się, że temperatura jest niższa.

Możesz zrobić to samo z całym wszechświatem, dokonując pomiarów z naszej małej kropki zwanej Ziemią. Możemy zmierzyć temperaturę fotonów mikrofalowego promieniowania tła, które trafiają w Ziemię od jednej strony, i porównać ją z temperaturą fotonów trafiających w Ziemię z drugiej strony. Nasze ustalenia okazują się trochę zaskakujące: temperatura jest taka sama (mniej więcej 2,73 K) bez względu na to, w którą stronę patrzymy!



Wydaje się mało prawdopodobne, byśmy znajdowali się dokładnie w środku podgrzanego w mikrofali wszechświata, dlatego na podstawie

tych pomiarów możemy wyciągnąć jedynie wniosek, że w całym wszechświecie panuje ta sama, równa temperatura. Innymi słowy, wszechświat bardziej przypomina wannę z kusząco parującą wodą niż bułkę wyjętą właśnie z mikrofalówki.



Aby pojąć, dlaczego oznacza to kłopot dla naszej prostej teorii Wielkiego Wybuchu, najpierw musimy zrozumieć, czym tak naprawdę są fotony z tego mikrofalowego promieniowania tła (będziemy je zwali skrótowo CMB, od Cosmic Microwave Background). Otóż przedstawiają one najdawniejszy obraz wszechświata jako dziecka.

W początkowym okresie wszechświat był dużo gorętszy i gęstszy niż dzisiaj. Nawet zbyt gorący, by mogły powstać atomy! – cała materia pozostawała więc w zjonizowanym stanie zwanym plazmą. Dookoła śmigały swobodnie elektrony, które miały zbyt dużo energii i nie chciały rezygnować z tej świetnej zabawy, wiążąc się z jednym dodatnim jądrem.

Kiedy jednak wszechświat ostygł, nastąpił krótki okres, w którym sprawy przybrały inny obrót: temperatura spadła na tyle, że naładowana plazma zmieniła się w obojętny gaz, a elektrony zaczęły krążyć po orbitach wokół protonów i tworzyć atomy oraz pierwiastki. W czasie tej przemiany wszechświat przeszedł ze stanu nieprzejrzystego do przejrzystego.

Kiedy jeszcze trwała faza plazmy, fotony nie mogły przemieszczać się tak, by nie wpadać raz za razem na swobodnie poruszające się elektrony i jony. Z chwilą jednak gdy elektrony i protony (oraz neutrony) utworzyły obojętne elektrycznie atomy, fotony dużo rzadziej z nimi oddziaływały, wobec czego mogły poruszać się swobodniej. Dla fotonów zamglony dotychczas wszechświat nagle stał się krystalicznie przejrzysty. A ponieważ od tamtego czasu wszechświat głównie się ochładza, większość tych fotonów nadal leci przed siebie, nie napotykając przeszkód.

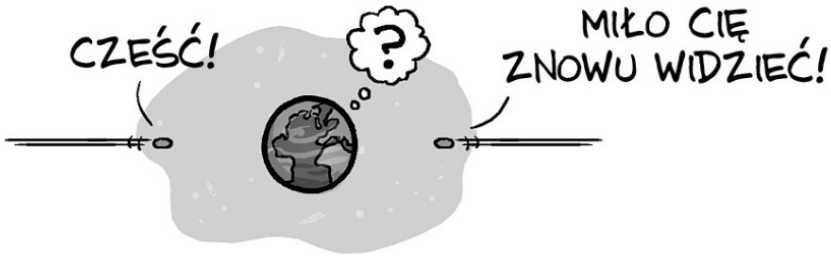
I to są właśnie te fotony, które wykrywamy, mierząc mikrofalowe promieniowanie tła, a ciekawe jest to, że temperatura tych fotonów wydaje się wszędzie taka sama.

Bez względu na to, w którą stronę spojrzeć, wszędzie widać fotony o takiej samej energii. Obraz CMB jest bardzo, bardzo, bardzo wyrównany.

Czegoś takiego można oczekiwać, jeśli obserwowany obiekt miał bardzo dużo czasu, by wszelkie gorące miejsca wymieszały się w nim i wyrównały różnice temperatur. Tak się dzieje na przykład wówczas, gdy zostawisz bułkę w mikrofalówce na dłużej, żeby przestygła. W końcu wszystkie cząsteczki będą miały z grubsza tę samą temperaturę.

Pamiętaj jednak, że fotony CMB są bardzo stare; datują się z okresu tuż po Wielkim Wybuchu, czyli mają jakieś 14 miliardów lat[3]. Jeśli patrzysz w niebo w jednym kierunku, widzisz fotony, które powstały 14 miliardów lat temu bardzo, bardzo daleko. Jeśli patrzysz w przeciwną stronę, widzisz fotony powstałe w tej samej odległości w innym kierunku.

Jak to możliwe, że te fotony mają tę samą energię, skoro nadciągają z przeciwnych krańców wszechświata? Jak mogły mieć szansę się ze sobą wymieszać i wymienić energię, aby ją wyrównać? Wydaje się, że aby się ze sobą przemieszać i mieć tę samą temperaturę, te fotony musiałyby się spotkać szybciej, niż pozwala na to prędkość światła.



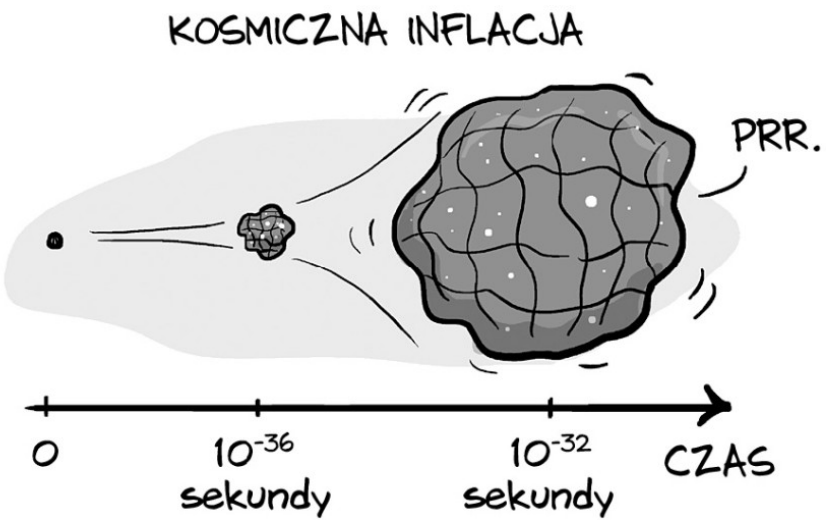
Nadęta odpowiedź

A zatem wszechświat jest za duży i zbyt wyrównany, by mógł pochodzić z Wielkiego Wybuchu, podczas którego wszystko po prostu rozproszyło się w przestrzeni, wychodząc z jakiegoś kleksa. Gdybyśmy napisali tę książkę trzydzieści lat temu, mogłaby to być jedna z wielkich tajemnic. Dzisiaj istnieje już jej wyjaśnienie – nie do odparcia, aczkolwiek z pozoru całkowicie zwariowane. Gotowy?

A co by było, gdyby parę chwil po stworzeniu wszechświata nastąpił okres mniej więcej 0,00000000000000000000000000000001 sekundy, kiedy struktura samej czasoprzestrzeni rozszerzyła się jakieś 10 000 000 - 000 000 000 000 000 000 razy – w tempie szybszym niż prędkość światła? [4]

Bum. Problemy znikły.

Co? Uważasz, że prawie natychmiastowe, szybsze niż światło rozszerzanie się struktury czasoprzestrzeni o dwadzieścia pięć rzędów wielkości brzmi całkowicie absurdalnie? Uważasz, że zmyślamy? Jeśli tak, to najwyraźniej nie jesteś szalonym fizykiem.



W rzeczywistości właśnie to rozwiązanie wymyślili fizycy, by wyjaśnić, dlaczego wszechświat jest większy, niż powinien, i dlaczego panuje w nim jednakowa temperatura. Nazywają to (werble!) „inflacją” – w znaczeniu nadmuchania. Dobra, faktycznie znam parę nazw wywołujących większy zachwyt. Ale obłędne jest to, że przypuszczalnie taka jest prawda.

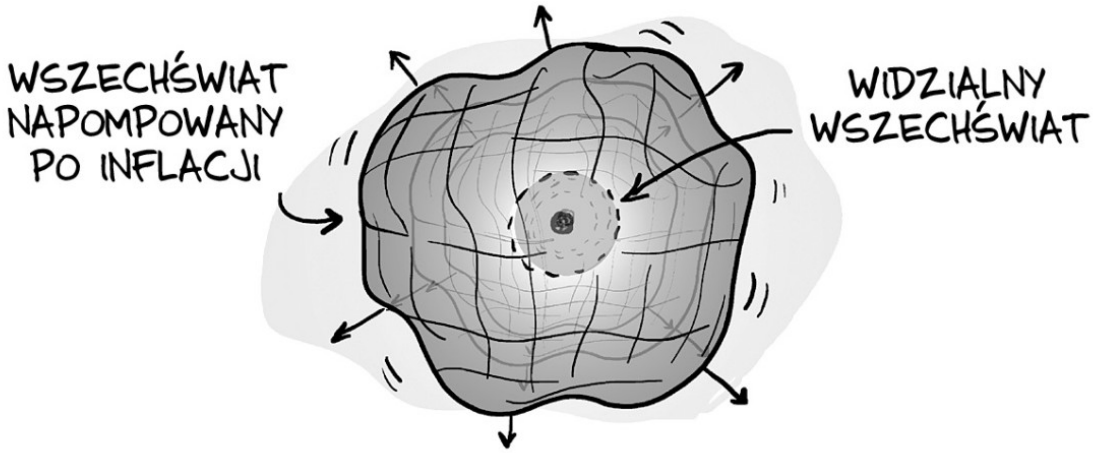
Najpierw porozmawiajmy o tym, dlaczego ma to być rozwiązanie tajemnicy zbyt wielkiego wszechświata.

Pamiętaj, na czym polegał problem: widzialny wszechświat, który rośnie z prędkością światła, jakoś ciągle jest mniejszy niż wszechświat faktyczny, rosnący w tempie, które powinno być niższe od prędkości światła. A więc teoria inflacji twierdzi, że przez krótką chwilę wszechświat rozszerzał się szybciej, niż wynosi prędkość światła.

Zawartość wszechświata wciąż przestrzega kosmicznego ograniczenia prędkości (nic nie porusza się w przestrzeni szybciej niż światło), ale zgodnie z teorią inflacji rozszerzyła się sama przestrzeń, tworząc nową przestrzeń szybciej, niż światło potrafi ją przebyć[5].

Właśnie dzięki temu wszechświat, który zaczął się od maleńkiej skończonej kropki, może teraz być o wiele większy od widzialnego wszechświata. W czasie inflacji wszechświat rozdął się poza horyzont

widzialnego wszechświata, rozpychając niektóre obiekty tak daleko, że nie dotarło do nas jeszcze światło, które emitują.



To rozszerzanie się przestrzeni było bardzo spektakularne: wszechświat powiększył się o ponad 10^{25} razy (to 25 rzędów wielkości!) w czasie krótszym niż 10^{-30} sekundy. Kiedy inflacja dobiegła końca, wszechświat nadal się rozszerzał, najpierw w dużo wolniejszym tempie, a potem, w bliższym nam czasie, w tempie szybszym z powodu ciemnej energii. Teraz widzialny wszechświat ma odrobinę szansy na to, by nadrobić straty, ponieważ wciąż rozszerza się z prędkością światła. Jak dużo wszechświata jest jednak wciąż poza zakresem widzialnego wszechświata? Nie mamy pojęcia, ale to będzie już temat kolejnego rozdziału.

A w jaki sposób inflacja rozwiązuje problem zbyt wyrównanego wszechświata?

Rozwiązanie problemu wyrównanych fotonów oznacza ustalenie, w jaki sposób tamte wczesne fotony (te, które docierają z różnych krańców wszechświata) wymieszały się ze sobą i wyrównały temperaturę; mogło się to zdarzyć tylko wówczas, gdy – w jakimś okresie w odległej przeszłości –

tamte fotony były znacznie bliżej siebie, niż wskazują na to przewidywania bazujące na obecnym tempie rozszerzania się.

Inflacja rozwiązuje ten problem, twierdząc, że fotony rzeczywiście znajdowały się bliżej siebie w pewnym momencie przed szybkim rozszerzeniem się czasoprzestrzeni. Przed inflacją wszechświat był na tyle mały, że wszystkie tamte fotony miały czas, by się ze sobą zapoznać i zrównoważyć, osiągając tym sposobem tę samą temperaturę.

Kiedy nastąpiła inflacja, tamte fotony zostały rozproszone na odległości, które nam wydają się zbyt duże, by fotony mogły mieć tę samą temperaturę. Po prostu wydaje się nam obecnie, że są od siebie za daleko, by mogły kiedykolwiek ze sobą rozmawiać, ale przed inflacją trzymały się całkiem blisko.

I już?

To absurdalne i prawie natychmiastowe kosmiczne naciągnięcie zwane inflacją sprawia, że wszystko ma sens.

A niewiarygodne jest to, że ten proces dzisiaj nadal trwa. Może nie w tym samym niemieszczącym się w głowie tempie, ale ciemna energia ciągle – dokładnie teraz – tworzy nową przestrzeń.

Niedawno teoria inflacji przeszła z poziomu poprawnej matematycznie szalonej teorii do obserwacji popartej doświadczalnie (ale jeszcze nie przyjętej ostatecznie)[6].

Mógłbyś zapytać: jak możemy zweryfikować coś, co wydarzyło się 14 miliardów lat temu? Otóż teoria inflacji przewiduje istnienie określonych śladów, sygnatur w niewielkich zmarszczkach na mikrofalowym promieniowaniu tła, które powinniśmy dzisiaj widzieć, i pewne tego rodzaju sygnatury wydają się obecne w doświadczalnych pomiarach CMB. Oczywiście nie znaczy to, że mamy pewność co do prawdziwości inflacji, ponieważ istnieją inne teorie, które również przewidują takie zawirowania, ale jest to już jakieś potwierdzenie.

W rzeczywistości to właśnie stąd wiemy także, iż wszechświat zaczął się jakieś 14 miliardów lat temu. Na podstawie tych zmarszczek potrafimy oszacować proporcje materii, ciemnej materii i ciemnej energii w naszym wszechświecie oraz w postaci modelu połączyć je z tempem rozszerzania się wszechświata. Ten model określa nam wiek wszechświata.

Jest jeszcze inny powód, dla którego pomysł z inflacją nam odpowiada. Kiedy w rozdziale 7 mówiliśmy o tym, że przestrzeń jest czymś dynamicznym, co zostaje zakrzywione przez ilość energii i materii we wszechświecie, powiedzieliśmy, jak dziwnym zbiegiem okoliczności wydaje się to, że we wszechświecie jest akurat taka ilość materii i energii, żeby przestrzeń była prawie płaska. Otóż inflacja sprawia, że wydaje się to mniej dziwne – rozszerzanie się przestrzeni powoduje na ogół, że sprawia ona wrażenie bardziej płaskiej, tak jak powierzchnia większej planety wydaje się bardziej płaska niż powierzchnia mniejszej. W rzeczywistości

teoria inflacji przewidziała, że przestrzeń jest płaska, zanim faktycznie to zmierzono.

Świetnie! Wielki Wybuch mamy wyjaśniony. Owszem, musieliśmy wynaleźć jakieś zwariowane, chwilowe i absurdalne rozszerzanie się czasoprzestrzeni, żeby wszystko zadziałało jak należy, jednak doświadczenia wskazują, że to się naprawdę (prawdopodobnie) wydarzyło.

Ale tu pojawia się kłopocik: nie wiemy, co wywołało inflację.

Co mogłoby sprawić, by czasoprzestrzeń maleńkiego wszechświata nagle i absurdalnie rozszerzyła się o dwadzieścia pięć rzędów wielkości? Nie wiemy. Tajemnica inflacjogennego Wielkiego Wybuchu pozostaje do końca niezgłębiona, a my dopiero zaczynamy rozumieć, o co pytać.

UWAGA: zbliżamy się do filozofii

W tym miejscu musimy zejść z solidnych fundamentów teorii naukowych i wskoczyć w bardziej mętny świat filozofii i metafizyki.

Jak dotąd większość pomysłów powstałych wokół tych pytań to właśnie pomysły: niesprawdzalne, zwariowane (chociaż fascynujące) pomysły. Może w przyszłości bystrzy naukowcy wymyślą sposoby na ich sprawdzenie i odkryją jakąś absolutnie wstrząsającą i zadziwiającą prawdę na temat pochodzenia inflacji oraz Wielkiego Wybuchu.

Co spowodowało inflację?

Czy naprawdę nie mamy pojęcia, co spowodowało inflację?

Okazuje się, że fizycy mają pewne koncepcje na temat tego, co mogło ją wywołać. A dobra wiadomość jest taka, że zgodnie jedną z nich nie musimy wymyślać żadnych nowych kosmicznie potężnych oddziaływań natury, tylko całkowicie nowy rodzaj substancji. Pestka.

Oto ten pomysł: A może pierwotny wszechświat wypełniała jakaś niestabilna substancja nowego rodzaju, która powoduje, że czasoprzestrzeń szybko się rozszerza?

Widzisz? Łatwo poszło. Teraz musimy tylko odpowiedzieć na dwa proste pytania:

1. W jaki sposób ten nowy rodzaj substancji sprawia, że czasoprzestrzeń się rozszerza?
2. Jeśli taka nowa substancja istniała, gdzie jest teraz?

Teoretycznie jest możliwe, by różnego typu materia powodowała rozszerzanie się czasoprzestrzeni w taki sam sposób, w jaki zwykła materia zakrzywia i zniekształca czasoprzestrzeń, kiedy mówimy o ogólnej teorii względności i grawitacji.

Jak by to wyglądało? Otóż grawitacja jest prawie zawsze oddziaływaniem przyciągającym, dążącym do zbliżenia mas. Są jednak pewne właściwości masy i energii, które mogłyby powodować rozszerzanie się czasoprzestrzeni, wobec czego przedmioty odpychałyby się, zamiast przyciągać. Powiedzmy, że to coś w rodzaju dopisku drobnym drukiem do ogólnej teorii względności. Tą własnością jest ciśnienie jako składowa tensora energii-pędu w materii. Brzmi to fachowo, ale znaczy tyle, że w pewnych warunkach (przy ujemnym ciśnieniu) materia może sprawiać, że przestrzeń będzie się rozszerzać.

Oczywiście zastanawiasz się, gdzie się podziała ta inflacjogenna substancja i dlaczego inflacja się zatrzymała. Odpowiadamy: ta inflacjogenna substancja jest niestabilna: w końcu rozkłada się lub rozpada na zwykłą materię.

A zatem teoria brzmi mniej więcej tak: być może pierwotny wszechświat wypełniało coś, co miało ujemne ciśnienie, i to ujemne ciśnienie popchnęło czasoprzestrzeń do bardzo, bardzo szybkiego rozszerzania się. W końcu ta hipotetyczna inflacjogenna substancja

przekształciła się w lepiej nam znaną materię, kładąc kres szalonemu rozszerzaniu się i powodując powstanie olbrzymiego, gorącego wszechświata pełnego gęstej, normalnej materii.

Ta teoria wydaje się zwariowana, ale wyjaśnia, co mogło spowodować inflację. A pamiętaj, że sama inflacja wydawała się zwariowaną teorią, zanim okazało się, że wyjaśnia mnóstwo rzeczy, których nie rozumieliśmy na temat pierwszych chwil wszechświata.

Oczywiście nie mamy pojęcia, czym jest ta dziwaczna substancja o ujemnym ciśnieniu, ale samo jej pojęcie nie jest aż tak absurdalne (jak na standardy panujące w fizyce). Kosmicznie potężne oddziaływania odpychające, które sprawiają, że wszechświat eksploduje do absurdalnych rozmiarów, stały się w ostatnich paru dekadach mniej absurdalne wraz z odkryciem ciemnej energii. Wiemy, że coś, co zwiemy ciemną energią, powoduje, że nasz wszechświat coraz szybciej się rozszerza (zob. rozdział 3), ale podobnie jak z substancją o ujemnym ciśnieniu, która być może spowodowała inflację, nie wiemy, co to takiego. Czy jedna i druga są ze sobą jakoś powiązane? O tym również nie mamy pojęcia.

A co było przed Wielkim Wybuchem?

Choć okoliczności Wielkiego Wybuchu są niezwykle zagadkowe, tajemnica leżąca zaraz po jego drugiej stronie – czyli przed nim – jest jeszcze większa. Co wywołało Wielki Wybuch? I co działo się wcześniej?

To pytanie miało sens, gdy myśleliśmy o Wielkim Wybuchu jak o konkretnym momencie, w którym wszechświat był maleńką kropką, wszystkie zegary pokazywały t=0, a wszystko zaczęło się wybuchowo właśnie od tej pierwszej chwili.

Teraz jednak zastąpiliśmy maleńką kropkę niewyraźną kwantową kropelką (może małą, może nieskończoną), a eksplozję zastąpiła inflacja, po której nastąpiło napędzane ciemną energią rozszerzanie się wszechświata. Zatem to pytanie zachowuje swoje znaczenie, ale najpierw musimy je przeformułować w naszym nowym kontekście. Zamiast pytać o to, co było przed Wielkim Wybuchem, powinniśmy zapytać: Skąd pochodzi kwantowa nadmuchująca się kropelka?

Czy ta kropelka musiała doprowadzić w rezultacie do powstania akurat takiego wszechświata, jaki mamy, czy mógł on być inny? Czy ta kropelka mogłaby powstać ponownie? Czy zdarzyło się to już wcześniej? Już odpowiadamy: jak zwykle nie mamy pojęcia.

Zachwycające jest to, że na te pytania najprawdopodobniej istnieje odpowiedź, a być może jesteśmy o krok od znalezienia dowodów potrzebnych do jej ujawnienia – potrzebujemy tylko odpowiednich narzędzi. Na kolejnych stronach przeanalizujemy niektóre możliwe odpowiedzi na pytanie o pochodzenie wszechświata, poczynając od całkiem prostych pomysłów, kończąc zaś na teoriach, które wydałyby się cudaczne nawet miłośnikom science fiction.

1. Może odpowiedź jest taka, że nie ma odpowiedzi?

Nie każde pytanie ma zadowalającą odpowiedź, ponieważ nie każde pytanie jest właściwie postawione. Tak może być z pytaniami w rodzaju: „Co się z tobą stanie po śmierci?” – ponieważ zależy to od tego, czy nadal będzie jakieś „ty”, gdy „ty” umrzesz. Podobnie, źle może być postawione pytanie: „Dlaczego mój kot mnie nie kocha?”, ponieważ nie wiemy nawet, czy koty potrafią kochać.

Do tej kategorii mogą należeć nawet pytania czysto matematyczne. Stephen Hawking sugerował, że pytanie „Co było przed Wielkim

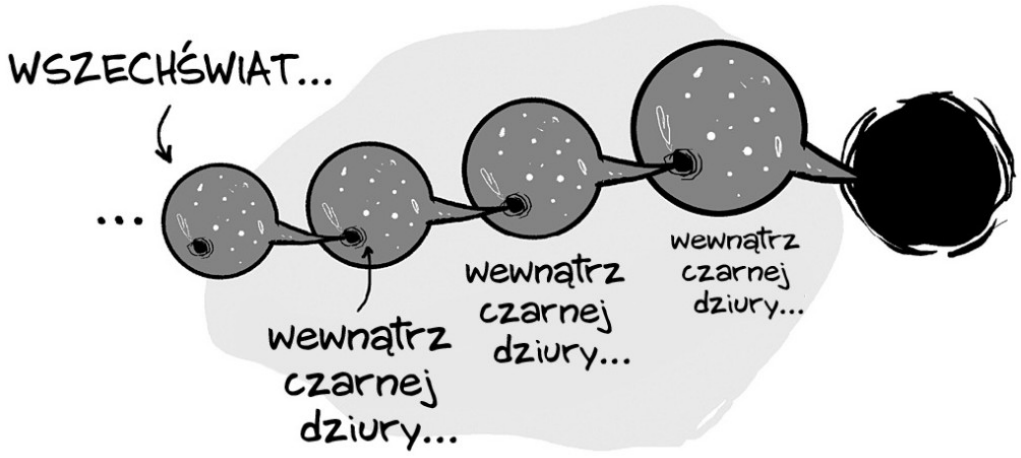
Wybuchem?” przypomina pytanie „Co jest na północ od bieguna północnego?”. Na biegunie północnym każdy kierunek, w którym by się poszło, prowadzi na południe i nie ma tam już kierunku północnego. Taka jest po prostu cecha geometrii Ziemi. Jeśli czasoprzestrzeń została stworzona w chwili Wielkiego Wybuchu, to możliwe, że geometria czasoprzestrzeni oznacza, że nie ma zadowalającej odpowiedzi na pytanie o to, co było wcześniej (tzn. nie ma żadnego „wcześniej”).

Z tego, co widzimy, wszechświat wydaje się stosować do praw fizyki, a zatem nawet wywołanie Wielkiego Wybuchu powinno dać się opisać w takich kategoriach. Możliwe jednak, że z naszego punktu obserwacyjnego w czasoprzestrzeni nie mamy dostępu do informacji niezbędnej, by się dowiedzieć, co było przedtem. Tego rodzaju wydarzenie o charakterze kataklizmu mogło zniszczyć wszelkie informacje o tym, co stało się wcześniej, nie pozostawiając nam żadnych śladów, które moglibyśmy odkryć. To bardzo niezadowalające, ale nigdzie nie powiedziano, że wszystkie odpowiedzi dostarczane przez naukę będą nam pooprawiać samopoczucie.

2. Może jest nieskończony ciąg czarnych dziur

Jeśli przyjmujemy inflację, to kluczowe pytanie brzmi: w jaki sposób została stworzona niezwykle gęsta i zbita inflacjogenna substancja? Gdy analizujemy wszechświat w poszukiwaniu rzeczy, które mogą tworzyć hipergęste obszary materii, oczywistym kandydatem wydaje się czarna dziura. Wewnątrz horyzontu wydarzeń czarnej dziury materia zostaje skompresowana silnym ciśnieniem grawitacyjnym. Niektórzy fizycy spekulują, że dziwne ujemne ciśnienie, które wywołało inflację, mogło powstać wewnątrz jakiejś potężnej czarnej dziury.

W rzeczywistości można pójść o krok dalej i zasugerować, że cały nasz wszechświat mógłby istnieć wewnątrz horyzontu wydarzeń tej matki wszystkich czarnych dziur. Rzeczywiście, czarne dziury w naszym wszechświecie mogłyby zawierać własne miniwszechświaty. Te pomysły są obecnie niesprawdzalne. Ale brzmią całkiem fantastycznie.

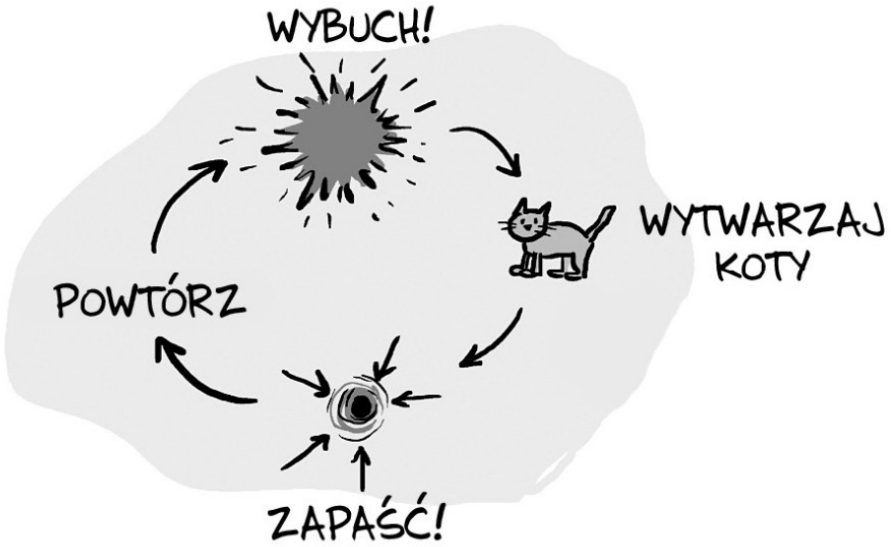


3. Może istnieje taki cykl

A może nasz Wielki Wybuch był tylko jednym z wielu? Może w dalekiej przyszłości ciemna energia i inflacja się odwrócą, powodując kosmiczne

zapadnięcie się zwane Wielką Zapaścią (albo Wielkim Kolapsem). Ta zapaść zgniata wszystkie gwiazdy, planety, ciemną materię i koty z powrotem do postaci maleńkiej gęstej kropelki, która następnie uruchamia nowy Wielki Wybuch. Ten cykl mógłby trwać wiecznie: zapaść, wybuch, zapaść, wybuch, zapaść… Towarzyszą temu jednak pewne teoretyczne problemy, wiążące się ze spadkiem entropii zapadającego się wszechświata, ale i tak mamy mętlik w głowie co do strzałki czasu, więc jeśli tylko jesteś gotów brać pod uwagę szalone pomysły, to istnieją potencjalne rozwiązania.

Oczywiście przeniesienie tego pomysłu z poziomu twórczej spekulacji na poziom sprawdzalnej hipotezy naukowej będzie trudne. Warunki, w jakich miałoby dojść do Wielkiego Wybuchu, najprawdopodobniej zniszczą wszelkie ślady poprzedniego cyklu, co znaczy, że możemy nigdy nie poznać odpowiedzi, nim nadejdzie kolejna Wielka Zapaść i ostatecznie nas wszystkich zmiażdży.



4. Może istnieje całe mnóstwo wszechświatów

Inna możliwość jest taka, że dziwaczna substancja o ujemnym ciśnieniu rozszerza się szybko, a w miarę jak się rozszerza, tworzy więcej tej dziwacznej substancji. I chociaż dziwaczna substancja ostatecznie rozpada się tworząc zwykłą materię, możliwe, że nie rozpada się wystarczająco szybko.

Jeśli więcej nowej dziwacznej substancji tworzy się szybciej, niż może się jej rozpadać, to skutkiem tego wszechświat będzie wiecznie się „nadmuchiwał", wciąż podlegał inflacji. Niektóre jego części będą się rozpadać, ale zjawisko to zostanie zdominowane przez tworzenie się nowej inflacjogennej substancji, która – jeśli ta teoria jest prawdziwa – właśnie teraz nadal nadmuchuje wszechświat.

Co się dzieje w tych miejscach, gdzie się ona rozpada? Każde takie miejsce stanowi koniec Wielkiego Wybuchu w tej części przestrzeni i początek powolnego rozszerzania się wszechświata normalnej materii.

Każde z tych miejsc może tworzyć „kieszonkowy wszechświat", taki jak ten wokół nas. Ponieważ inflacja trwa wiecznie, nieustannie tworzonych jest wiele wszechświatów. Jeśli inflacja ciągle tworzy przestrzeń szybciej, niż światło potrafi przez nią się przemieszczać, to inflacjogenna substancja między kieszonkowymi wszechświatami będzie rosła zbyt szybko, by te wszechświaty mogły kiedykolwiek ze sobą oddziaływać.

KIESZONKOWE WSZECHŚWIATY: ZŁAP JE WSZYSTKIE

Jak wyglądają te inne kieszonkowe wszechświaty? Oczywiście nie mamy pojęcia. Możliwe, że wszystkie kieszonkowe wszechświaty są podobne do naszego, z tymi samymi prawami fizyki, a tylko nieznacznie różnymi przypadkowymi warunkami początkowymi, co prowadziłoby do powstania w nich struktur podobnych do tych, które mamy tutaj. Jeśli inflacja trwa od zawsze i będzie trwała zawsze, znaczy to, że może istnieć nieskończona liczba kieszonkowych wszechświatów.

Nieskończoność to bardzo potężne pojęcie, ponieważ nieskończona liczba wszechświatów oznacza, że bez względu na to, jak mało prawdopodobne może być jakieś możliwe zdarzenie, będzie ono miało miejsce. Więcej: w nieskończonej liczbie wszechświatów nawet coś mało prawdopodobnego wydarzy się nieskończoną liczbę razy, o ile prawdopodobieństwo tego czegoś nie wynosi zero. Jeśli ta teoria jest poprawna, to inne wszechświaty mogą zawierać prawie identyczne kopie Ziemi, w tym także takie, na których żadna potężna asteroida nigdy nie

zgładziła dinozaurów, albo taką, na której kolonizacja Ameryki Północnej przez Wikingów zakończyła się z większym powodzeniem, a ty czytasz tę książkę po duńsku. Albo taką, na której twój kot naprawdę cię lubi.

Wielki finisz

To, że mamy w ogóle jakiekolwiek wskazówki na temat fizyki Wielkiego Wybuchu, jest absolutnie niewiarygodne. Wyobraź sobie, jak by to było, gdybyś próbował zrekonstruować okoliczności swoich narodzin, nie znając nikogo, kto przy tym był, albo gdyby miały one miejsce 14 miliardów lat temu.

Na tej chronologicznej skali czas, jaki spędzamy tu, na Ziemi, jest ledwie mgnieniem oka. Jednak w czasie tego mgnienia jakoś nam się udało spojrzeć na otaczający nas wszechświat i znaleźć w nim ślady, które doprowadziły nas z powrotem do początku czasu oraz najdalszych granic widzialnego wszechświata.

A jeśli nasz czas tutaj będzie trwał trochę dłużej niż mgnienie, wyobraź sobie, co jeszcze odkryjemy. Może ustalimy, co spowodowało inflację, a przy okazji poznamy nowe rodzaje materii albo nowe właściwości istniejącej materii, o których wcześniej nie wiedzieliśmy.

Albo może – co jeszcze bardziej ekscytujące – pewnego dnia nasza wiedza przebije się przez te wczesne chwile wszechświata i będziemy w stanie zobaczyć, co się działo przed Wielkim Wybuchem. Co znajdziemy po tamtej stronie? Inne wszechświaty unoszące się w nieprzebranym oceanie inflacjogennej substancji? A może inną wersję naszego wszechświata zmierzającą ku Wielkiemu Kolapsowi?

Dzisiaj te pytania są filozoficzne, ale w przyszłości mogą się stać naukowe, a nasi potomkowie – i ich koty – poznają na nie odpowiedzi.

Dzisiejsze pytania filozofii są jutrzejszymi eksperymentami precyzyjnej nauki.

---

[1] Przy założeniu, że nie ma rozszerzania się samej przestrzeni – za chwilę do tego dojdziemy.

[2] To zakłada, że wszechświat jest skończony. Jeśli nie przyjmujesz takiego założenia, to unikasz tego problemu, ponieważ nieskończony wszechświat zawsze będzie większy niż to, co możemy widzieć, ale wówczas pojawiłby się problem wyjaśnienia, jak taki nieskończony wszechświat został stworzony.

[3] Nie lubią o tym mówić. Nie pytaj ich o to.

[4] Szybciej niż światło oznacza w tym wypadku ekspansję nowej przestrzeni, która dodaje odległość szybciej, niż światło może ją pokonać, a nie dosłownie szybszy od światła ruch w przestrzeni, który jest niemożliwy.

[5] Pamiętaj: przestrzeń teraz to rzecz, a nie tylko tło. Zob. rozdział 7.

[6] Bardziej bezpośrednim dowodem byłaby obserwacja fal grawitacyjnych pochodzących z inflacji, ale ostatnie doniesienia o rzekomym ich wykryciu ostatecznie okazały się błędne.

15

Jak WIELKI jest wszechświat?

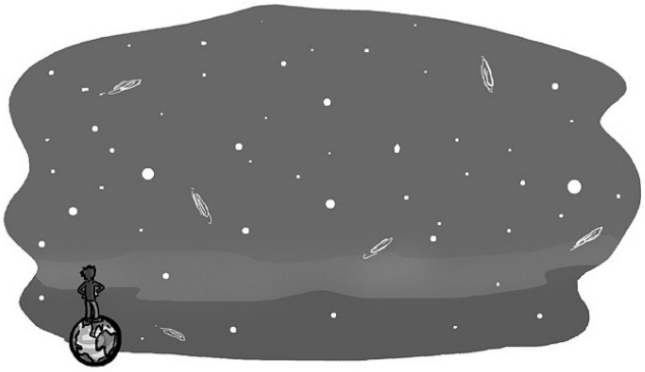
I dlaczego jest taki pusty?

Wejdź na szczyt jakiejś ustronnej góry w słoneczny dzień, a twój wysiłek zostanie nagrodzony zapierającą dech panoramą. O ile nie zbudowano tam jeszcze kawiarni Starbucksa, będziesz mógł w całkowitej samotności cieszyć się widokiem, który rozciąga się na wiele kilometrów i nic go nie przesłania.

Sprawia to tak niesamowite wrażenie, ponieważ – zakładając, że nie jesteś miliarderem mieszkającym w penthousie – codzienny widok, jaki rozpościera się z twojego okna, gdy popijasz poranną kawę, zapewne właściwie wcale się nie rozpościera, tylko co najwyżej spościera na kilka czy kilkadziesiąt metrów, a nie na całe kilometry. Może do budynku położonego obok masz tak blisko, że właśnie czytasz książkę przez ramię sąsiadki.

TO BY BYŁO TYLE, JEŚLI CHODZI O MARKETING SZEPTANY

Ale jeszcze wspanialszy widok możesz mieć każdej nocy, kiedy spojrzysz w gwiazdy. Kierując wzrok ku niebu, możesz wpatrywać się w przestrzeń na całe miliardy kilometrów w głąb. Wyobraź sobie, że każda gwiazda to wyspa w trójwymiarowym oceanie wszechświata. Możesz patrzeć na to ogromne niebo i rozkoszować się olśniewającym widowiskiem, które tworzą unoszące się w kosmosie niezliczone wyspy. Taki widok może przyprawić o zawrót głowy, jeśli przypomnisz sobie, że pośrodku tego bezkresnego kosmicznego oceanu stoisz na czubku maleńkiej skalistej wyspy zwanej Ziemią.



Podziwianie tego widoku jest możliwe, ponieważ wszechświat jest niesamowicie ogromny i przeważnie pusty.

Gdyby gwiazdy były położone bliżej siebie, nocne niebo byłoby znacznie jaśniejsze, a zasypianie wieczorem – dużo trudniejsze. Gdyby gwiazdy znajdowały się w większych odległościach od siebie, nocne niebo byłoby przygnębiająco ciemne i mniej byśmy wiedzieli o reszcie wszechświata.

A gdyby, co gorsza, przestrzeń nie była tak przejrzysta, ten niesamowity widok okazałby się zamglony, a my pozostalibyśmy pogrążeni w głębokiej niewiedzy co do naszego miejsca we wszechświecie. Na szczęście ten rodzaj światła, które wysyła nasze Słońce i które nasze oczy tak świetnie widzą, całkiem dobrze radzi sobie z przenikaniem przez międzygwiezdny gaz i pył. (Aczkolwiek światło podczerwone i fale o większej długości są pod tym względem jeszcze lepsze niż światło widzialne).

A zatem na szczęście wszyscy (nawet ci, którzy nie są bilionerami) możemy zaglądać głęboko w kosmos. Ale widzieć nie znaczy rozumieć. Nasi przodkowie patrzyli na ten sam widok i na ogół całkowicie błędnie pojmowali to, co widzieli. W czasach prehistorycznych nawet najbogatsi z nas dysponowali nielicznymi wskazówkami, które mogłyby ich doprowadzić do tej niewiarygodnej wiedzy, jaka ich opływała, ale i po nich spływała. Dzisiaj, dzięki teleskopom i współczesnej fizyce, potrafimy zajrzeć w kosmos i zrozumieć swoje kosmiczne współrzędne oraz sposób rozłożenia gwiazd i galaktyk w przestrzeni.

Podobnie jednak jak wcześniej nasi przodkowie, zapewne my także przegapiamy wskazówki dotyczące szerszego obrazu, a to, co rozumiemy, prowokuje wciąż nowe pytania: czy jest więcej gwiazd, niż potrafimy zobaczyć? Jak wielki jest wszechświat? Czy tam daleko będzie nadal można dostać porządne latte?

W tym rozdziale stawimy czoła największemu zagadnieniu znanemu ludzkości: rozmiarowi i strukturze wszechświata.

Może lepiej, żebyś się czegoś przytrzymał.

Nasz adres w kosmosie

Czytasz tę książkę gdzieś na Ziemi. Patrząc w najszerszej perspektywie, nie ma wielkiego znaczenia, gdzie dokładnie. Może siedzisz na sofie i głaszczesz chomika, może bujasz się w hamaku na Arubie albo zajmujesz toaletę któregoś ze Starbucksów. Nawet jeśli jesteś biliarderem latającym nad Ziemią w prywatnej stacji kosmicznej, te szczegóły w ogromnej skali wszechświata są zupełnie nieistotne.

Ta trzecia planeta i jej siedem[1] siostrzanych planet wspólnie ze Słońcem krążą po orbicie wokół centrum naszej Galaktyki, która jest potężną spiralną tarczą z kilkoma ramionami wirującymi dokoła jasnego środka. Miejsce naszego zamieszkania znajduje się plus minus w połowie długości jednego z ramion Galaktyki Mlecznej Drogi. Nasze Słońce jest jedną z mniej więcej stu miliardów gwiazd naszej Galaktyki i nie jest ani jedną z najstarszych, ani najmłodszych, ani największych, ani

najmniejszych. Złotowłosa uznałaby, że jest w sam raz. Gdy nocą wpatrujesz się w rozgwieżdżone niebo, widzisz głównie gwiazdy z naszego ramienia Galaktyki, te, które w kosmicznej skali znajdują się w pobliżu. A przy czystym niebie, jeśli znajdujesz się z dala od źródeł zanieczyszczenia sztucznym światłem z sieci kawiarni, możesz sięgnąć wzrokiem na tyle daleko, by dostrzec tarczę pozostałej części Galaktyki. Wygląda ona jak szeroki pas rozmytych gwiazd, tak licznych i gęsto położonych, że przypominają rozlane po niebie mleko (stąd nazwa). Prawie wszystko, co widzisz na nocnym niebie, należy do naszej galaktyki, ponieważ są to obiekty najjaśniejsze (i najbliższe).

NIE MA JAK W DOMU

Reszta wszechświata jest głównie usiana galaktykami; nie ma oznak istnienia samotnych gwiazd unoszących się między nimi. Jest to całkiem nowa informacja; jeszcze przed jakimiś stu laty astronomowie uważali, że gwiazdy są rozsiane równomiernie po całym kosmosie. O tym, że gwiazdy skupiają się w galaktyki, nie mieli pojęcia – do czasu gdy zbudowali na tyle potężne teleskopy, by móc dostrzec, czym faktycznie są te zamglone odległe obiekty. Musiała to być nie lada rewelacja, kiedy odkryli, że nasza Galaktyka, która wówczas wydawała się całym wszechświatem, jest tylko jedną z miliardów galaktyk, jakie widzimy w kosmosie. Wcześniej

odkryliśmy, że nasz świat nie jest jedyną planetą we wszechświecie, a nasze Słońce jest jedną z wielu, wielu gwiazd. Za każdym razem skala naszej nieważności niepomiernie wzrasta.

Dość niedawno dowiedzieliśmy się, że same galaktyki nie są rozsiane po całym wszechświecie równomiernie. Mają skłonność do skupiania się w luźne grupy[2] i gromady, które z kolei łączą się w potężne supergromady, złożone z dziesiątków gromad. Nasza supergromada waży jakieś 10^{15} razy tyle, ile wynosi masa naszego Słońca. Ciężka sprawa.

Jak dotąd, aż do skali galaktycznych supergromad, struktura wszechświata jest bardzo hierarchiczna: księżyce krążą wokół planet, planety wokół gwiazd, gwiazdy wokół centrów galaktyk, galaktyki poruszają się dokoła środków swoich gromad, a gromady pędzą wokół centrów supergromad. Dziwna sprawa, ale na tym etapie ta prawidłowość się kończy. Supergromady nie tworzą megagromad, superhipergromad ani ubergromad, a zamiast tego robią coś dużo bardziej zaskakującego: tworzą rozciągające się na setki milionów lat świetlnych wszerz płachty i włókna o grubości dziesiątek milionów lat świetlnych. Te płachty supergromad są niesamowicie rozległymi strukturami: zakrzywiają się, tworząc

nieregularne bańki i pasma otaczające olbrzymie kosmiczne pustki, w których nie ma supergromad ani galaktyk, a są tylko bardzo nieliczne gwiazdy, księżyce albo kwintylionerzy.

To uporządkowanie supergromad jest największą znaną strukturą we wszechświecie. Jeśli nadal pomniejszałbyś widok, zobaczyłbyś powtarzający się wszędzie wokół ten sam podstawowy schemat gwiazd-galaktyk-gromad-supergromad-płacht, ale nie tworzy on żadnej kolejnej struktury w większej skali. Bańki z płacht supergromad nie układają się

w żadne ciekawe złożone megastruktury. Niczym chaotycznie rozsypane klocki Lego na podłodze, te bańki są równomiernie rozsiane po całym kosmosie. Dlaczego wcześniejszy schemat kończy się na tej skali? Skąd biorą się bańki supergromad? Dlaczego wszechświat jest tak jednakowy na tym poziomie?

Jedno jest jasne: w tej skali jesteśmy dość mało znaczący. Nie zajmujemy we wszechświecie żadnego szczególnego położenia; nasz kosmiczny adres nie jest żadnym niezwykle ważnym miejscem, w niczym nie przypomina kosmicznego odpowiednika Manhattanu[3]. A czy jesteśmy przynajmniej tacy niezwykli, jeśli chodzi o życie i inteligencję? We wszechświecie, w którym jest wiele miliardów galaktyk, w każdej z nich zaś po 100 miliardów gwiazd, to się dopiero okaże.

Jak to się tak wszystko porobiło?

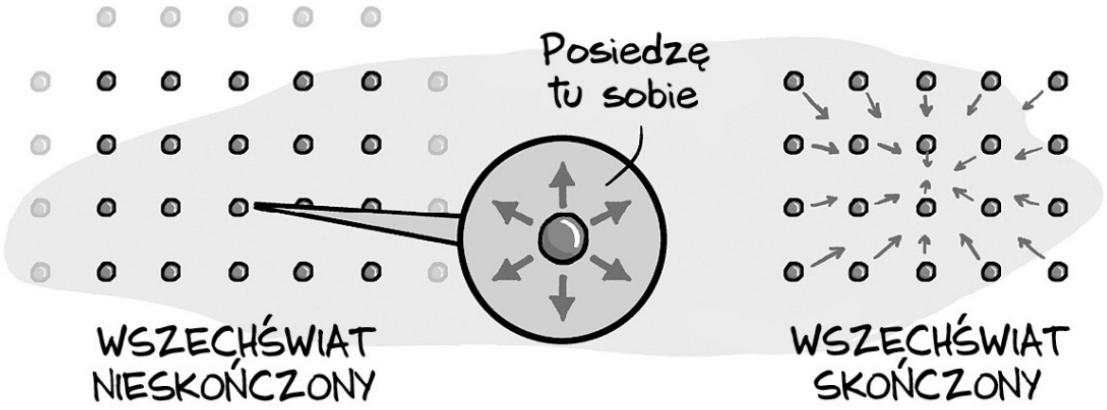
Być może dla tak dobrze wykształconego i przystojnego czytelnika jak ty nasz galaktyczny adres nie jest niczym nowym[4]. Ale stawia przed nami

bardzo ciekawe pytanie: dlaczego w ogóle istnieje ta struktura?

Nietrudno sobie wyobrazić wszechświat, w którym zawarta w nim materia jest ułożona inaczej. Na przykład dlaczego gwiazdy nie zgromadziły się wszystkie w jednej megagalaktyce? Albo dlaczego każda galaktyka nie jest po prostu jedną gwiazdą z absurdalną liczbą planet dokoła? Albo dlaczego w ogóle są galaktyki? Dlaczego nie mogłoby być wszechświata, w którym gwiazdy są równomiernie rozproszone, jak drobinki kurzu unoszące się w dawno niesprzątanym pokoju?

Albo dlaczego w ogóle istnieje jakakolwiek struktura? Wyobraź sobie, jak by to było, gdyby w pierwszej chwili swego istnienia wszechświat był całkowicie równy i symetryczny, z tą samą gęstością cząstek wszędzie w każdym kierunku. Jakiego rodzaju wszechświat wówczas by powstał? Gdyby wszechświat był nieskończony i wyrównany, to każda cząstka doznawałaby tego samego przyciągania grawitacyjnego w każdym kierunku, co oznacza, że żadna z nich nie musiałaby poruszać się w żadną stronę. Cząstki nigdy by się nie zbiły w żadne skupisko i wszechświat pozostałby nieruchomy. A gdyby wszechświat był skończony, ale mimo to

wyrównany, to każda cząstka byłaby przyciągana do tego samego punktu: do centrum masy wszechświata[5].



W obu wypadkach nie doszłoby w ogóle do powstania jakichkolwiek lokalnych skupisk ani struktur; ten wszechświat byłby nijaki i wyrównany albo przyklejony przez całe życie do jednego miejsca, jak bezbarwna podmiejska knajpka.

Okazuje się, że fizycy mają całkiem niezłą historię, która wyjaśnia, jak ostatecznie doszło do tego, że żyjemy w pełnym różnych struktur niebanalnym wszechświecie. Oto i ona: niewielkie fluktuacje kwantowe w początkowym okresie istnienia wszechświata zostały w wyniku szybkiego rozszerzania się czasoprzestrzeni (tzn. inflacji) rozciągnięte do postaci olbrzymich, kolosalnych zmarszczek, które zapoczątkowały formowanie gwiazd i galaktyk przez grawitację, czemu pomagała ciemna materia; w pewnym momencie tego procesu ciemna energia zaczęła jeszcze dalej rozciągać przestrzeń.

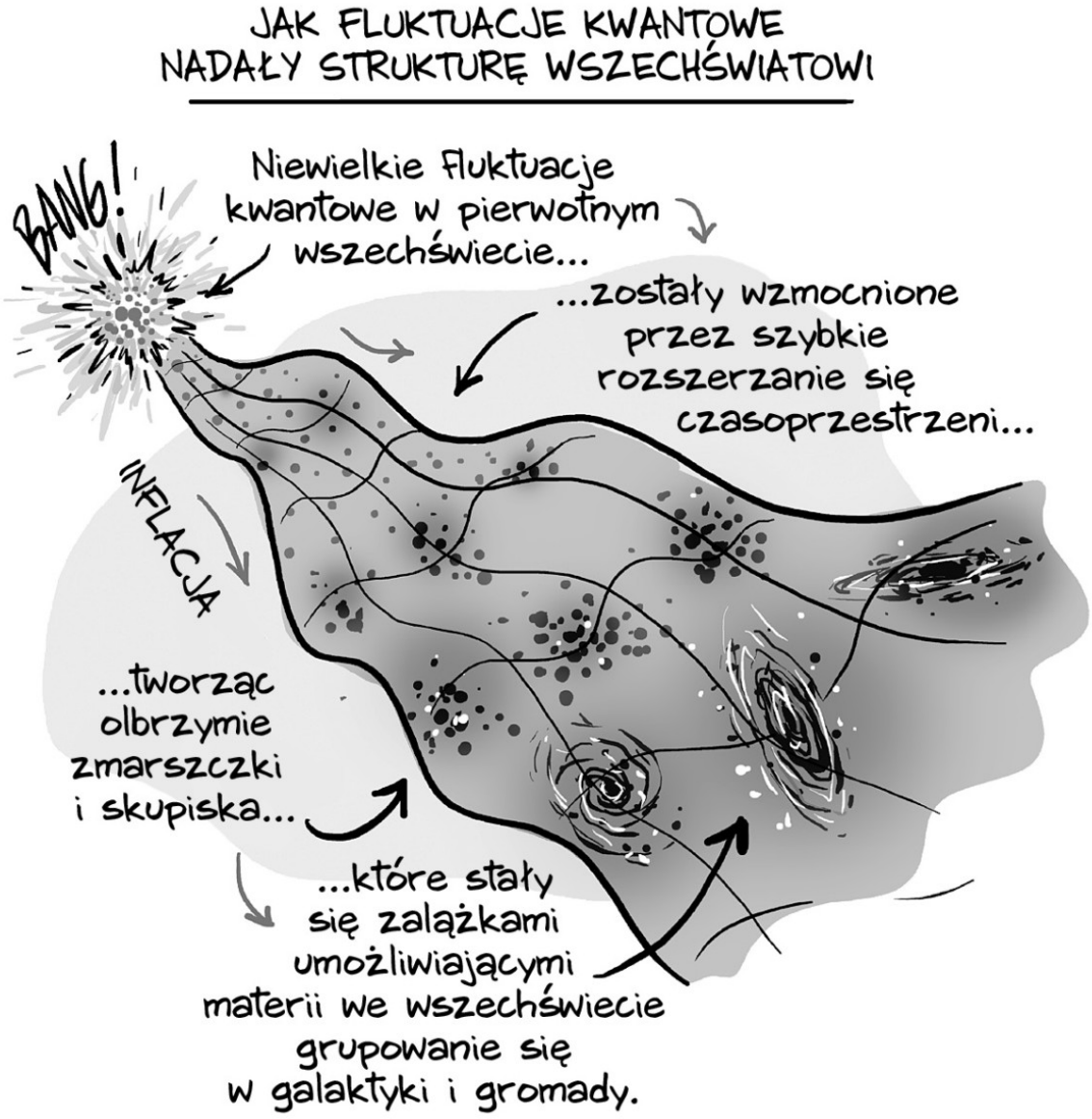
Uf. Powiedzieliśmy, że to niezła historia, a nie że łatwa.

Jak widzisz, aby w dzisiejszym, dorosłym wszechświecie istniała jakakolwiek struktura, we wcześniejszym okresie jego nieodpowiedzialnej młodości musiały zaistnieć jakieś ogniska skupienia[6]. Z chwilą

stworzenia najmniejszej nawet kropelki o większej zawartości masy od przeciętnej tworzy się lokalny punkt zapalny grawitacji, który może ściągać do siebie coraz więcej atomów, odciągając je z obszaru oddziaływania grawitacyjnego wszystkich pozostałych.

Wyobraź sobie na przykład miasto, w którym kawiarnie Starbucks są rozsiane w równych odległościach jedna od drugiej. Każda amatorka kawy będzie czuła rozkoszny zapach dochodzący z najbliższych w stosunku do niej lokali, ponieważ jednak będą położone w jednakowych odległościach, dziewczyna zastygnie niezdecydowana na wieki. Gdyby jednak niewielkie wahania (fluktuacje) w procesie parzenia kawy sprawiły, że aromat płynący z jednej kawiarni byłby silniejszy, to ściągnęłaby ona więcej klientów, skutkiem czego przy tej samej ulicy zaczęłyby wyrastać kolejne Starbucksy, przyciągnęłyby jeszcze więcej klientów, prowadząc w konsekwencji do otwarcia kolejnych Starbucksów, itd. Ta pętla sprzężenia zwrotnego tworzy kaskadę i w bardzo krótkim czasie w jednych lokalach Starbucksa zaczęłyby otwierać się kolejne lokale Starbucksa, co doprowadziłoby do powstania osobliwości Starbucksa. Ale coś takiego nie mogłoby się rozpocząć bez tamtego początkowego ogniska. Pierwsze odchylenia od jednorodności i wyrównania pierwotnego wszechświata epoki pre-starbucksowej miały absolutnie decydujące znaczenie dla stworzenia dzisiejszego układu gwiazd i galaktyk.

Co zatem spowodowało te pierwsze odchylenia od jednorodności i wyrównania w naszym dziecięcym wszechświecie? Jedyny znany nam mechanizm, który mógłby tego dokonać, to przypadkowość mechaniki kwantowej.



To nie spekulacja – jest to coś, co zaobserwowano. Przypomnij sobie, że dzięki mikrofalowemu promieniowaniu tła mamy obraz wszechświata w wieku niemowlęcym, ukazujący, jak wszechświat wyglądał w chwili, gdy nieco ostygł i przeszedł z fazy gorącej, naładowanej plazmy do postaci przeważnie obojętnego gazu. Na tym obrazie widzimy, że wszechświat był wyrównany, ale nie idealnie wyrównany. Są tam małe zmarszczki, które ukazują fluktuacje kwantowe wczesnego wszechświata.

Podczas Wielkiego Wybuchu inflacja niesamowicie rozciągnęła przestrzeń i nadmuchała te małe zmarszczki, tak że przyjęły postać ogromnych fałd w strukturze przestrzeni i czasu. Następnie te zmarszczki w czasoprzestrzeni wytworzyły skupiska i zarzewia grawitacji, które doprowadziły później do powstania bardziej złożonych struktur.

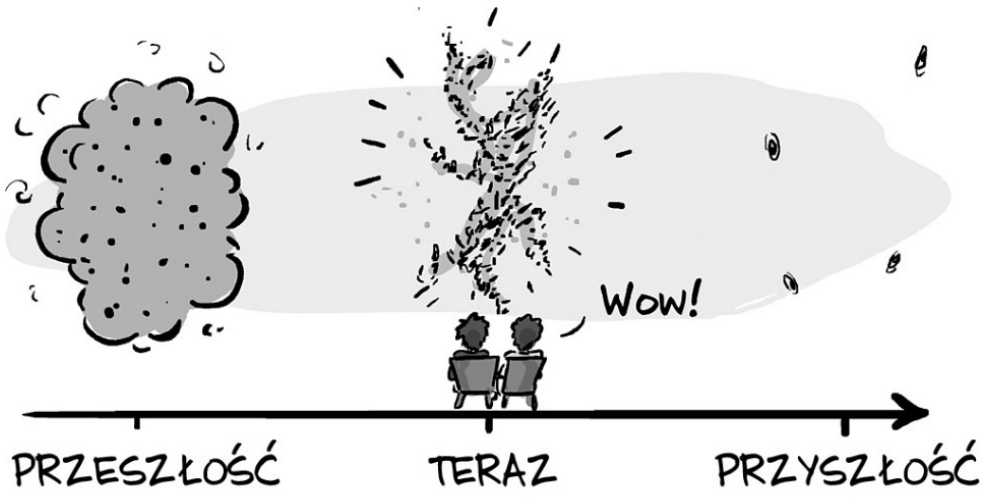
FIZYCY POTRAFIĄ SCHLEBIAĆ

Podsumujmy: szybkie rozszerzanie się przestrzeni nadmuchało losowe odchylenia natury na poziomie kwantowym, co wkrótce doprowadziło do tego wszystkiego, co widzimy dzisiaj. Bez inflacji wszechświat wyglądałby zupełnie inaczej.

Jak podejrzewają fizycy, struktur większych niż płachty i bańki supergromad nie ma dlatego, że grawitacja nie miała po prostu wystarczająco dużo czasu, by jeszcze bardziej pościągać wszystko do siebie i wytworzyć więcej struktur. W rzeczywistości są dzisiaj takie części wszechświata, które dopiero niedawno zaczęły doznawać oddziaływania grawitacyjnego innych części, ponieważ skutki grawitacji również ogranicza prędkość światła.

A co z przyszłością? Gdyby ciemna energia nie rozszerzała wszechświata, to grawitacja cały czas skupiałaby wszystko razem, wciąż tworząc jeszcze większe kształty i struktury. Ale ciemnej energii nie można zakwestionować. Mamy więc dwa rywalizujące ze sobą działania: grawitacja miała wystarczająco dużo czasu, by skupić materię w olbrzymie

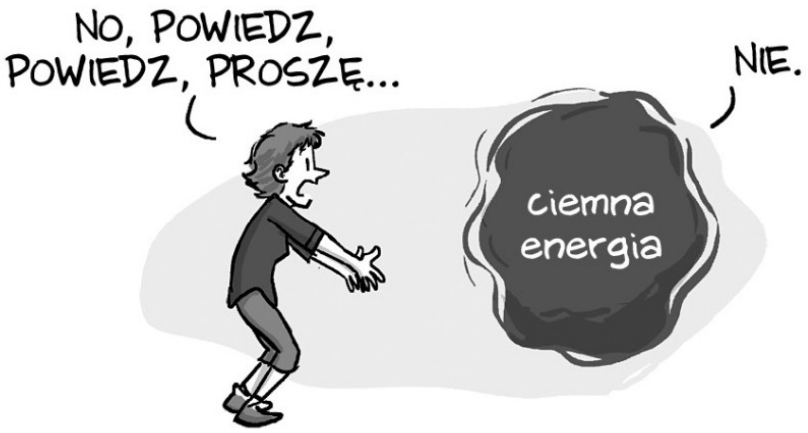
kształty, ale ciemna energia nie miała go aż tyle, by je porozpychać. W tym momencie te dwa działania wydają się doskonale zrównoważone, co znaczy, że żyjemy w idealnej epoce, by móc oglądać największe struktury, jakie wszechświat kiedykolwiek pozna.



Czy to możliwe? Czy to zwykły zbieg okoliczności, że żyjemy w Ozymandiasowym wieku wszechświata?[7] Ilekroć mamy ochotę uwierzyć, że mieszkamy w wyjątkowym miejscu (np. na Ziemi jako centrum wszechświata) albo żyjemy w wyjątkowym czasie (np. sześć tysięcy lat po stworzeniu wszechświata), powinniśmy zwrócić szczególną uwagę, czy nie jest to zwykłe schlebianie własnemu wrażliwemu ego.

Biorąc pod uwagę nasze obecne rozumienie, wydaje się, że żyjemy w wyjątkowym momencie. Ale tak naprawdę nie wiemy tego na pewno, ponieważ nie potrafimy z przekonaniem przewidzieć przyszłości ciemnej energii. Jeśli nadal będzie ona rozpychać wszechświat, to galaktyki i supergromady nie zdążą poprzyciągać się do siebie i stworzyć nowych interesujących struktur. Jeśli jednak ciemna energia zmieni kierunek działania, wówczas grawitacja będzie miała szansę pościągać wszystko do siebie i utworzyć struktury nowego rodzaju, dla których jeszcze nie mamy

nawet nazw! Zajrzyj tu za 5 miliardów lat – będziemy mieli zaktualizowane dane.



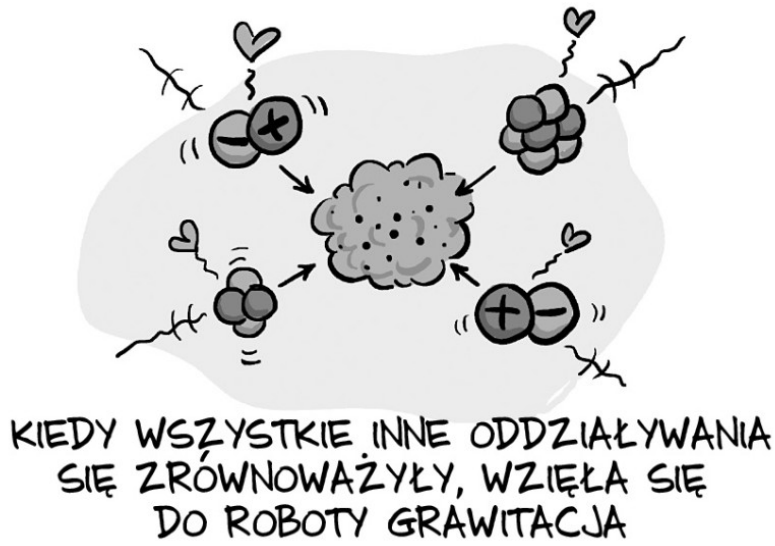
Grawitacja kontra ciśnienie

Zatem fakt, że istnieje w ogóle jakakolwiek struktura – a nie idealnie wyrównana jednorodność – wynika z kwantowych fluktuacji, które wytworzyły pierwsze zmarszczki, nadmuchane następnie do nieproporcjonalnych rozmiarów przez inflację, co stworzyło zalążki prowadzące później do naszego obecnego wszechświata. Jak jednak tamte zalążki zamieniły się w planety, gwiazdy i galaktyki, które oglądamy? Odpowiedź to próba godzenia interesów dwóch potężnych działań: grawitacji i ciśnienia.

Mniej więcej 400 000 lat po Wielkim Wybuchu wszechświat był wielką masą gorącego, obojętnego gazu z paroma zmarszczkami. I wtedy wzięła się do roboty grawitacja.

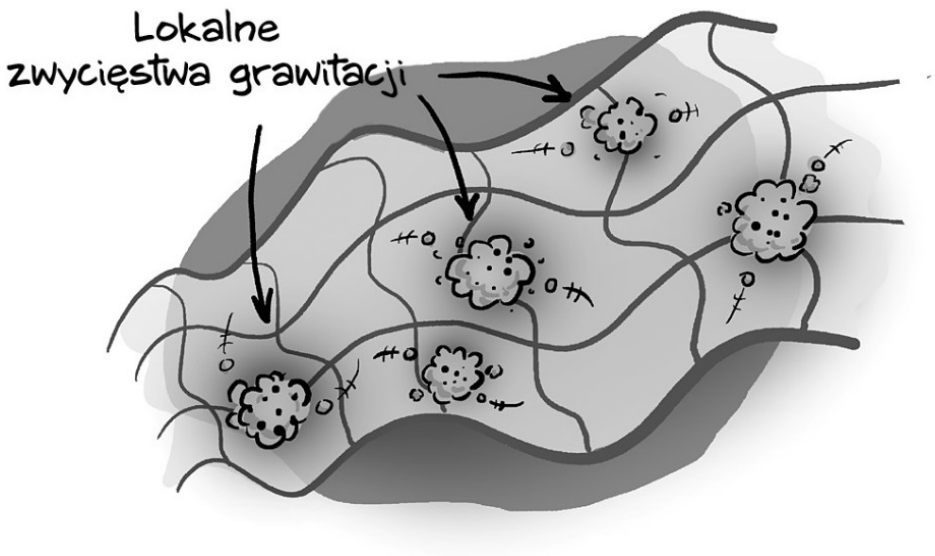
To, że wszystko było obojętne, jest bardzo ważne. Wszystkie pozostałe oddziaływania były w tym momencie prawie zrównoważone. Oddziaływanie silne pogrupowało kwarki w protony i neutrony.

Elektromagnetyzm połączył protony i elektrony, tworząc obojętne atomy. Ale grawitacji nie da się zrównoważyć ani zobojętnić. Grawitacja jest też bardzo cierpliwa: przez całe miliony i miliardy lat ściągała te zmarszczki do siebie, tworząc coraz bardziej zbite skupiska.



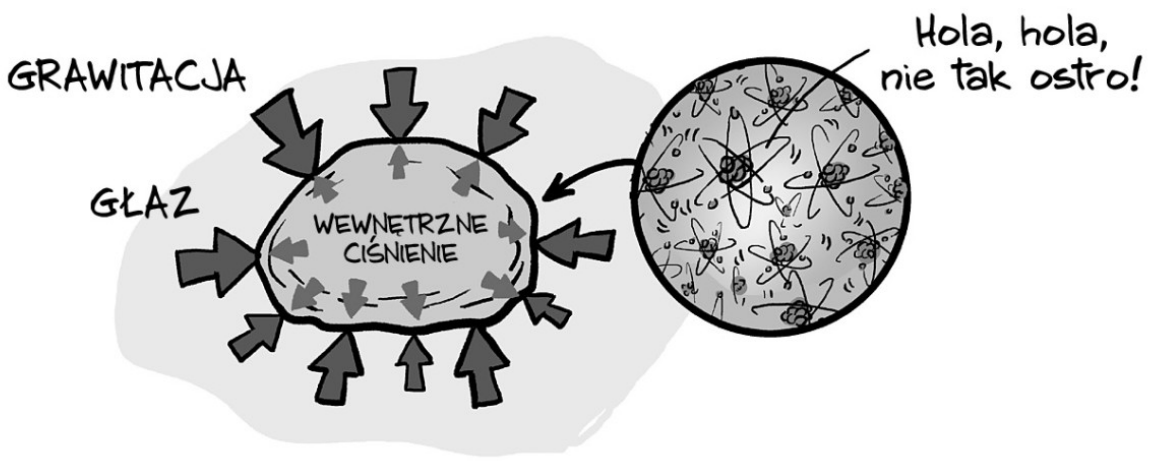
Ale wszechświat istnieje już długo, więc być może zastanawiasz się, dlaczego grawitacja nie ściągnęła wszystkiego z powrotem w jedną wielką masę: w jakąś potężną gwiazdę albo ogromną czarną dziurę, albo nawet megagalaktykę. Okazuje się, że we wszechświecie jest dokładnie tyle materii i energii, by grawitacja mogła „wypłaszczyć” przestrzeń – a nie wygiąć ją tak, by ściągnąć wszystko z powrotem. A pamiętaj, że ciemna energia rozszerza samą przestrzeń, więc ostatecznie skutek jest taki, że wszystko oddala się od siebie w skali makro.

I mimo że grawitacja nie może zwyciężyć w tym kosmicznym przeciąganiu liny, to trzeba jej oddać, że odniosła trochę małych lokalnych zwycięstw. Pasma gazu i pyłu powstałe z pierwotnych zmarszczek skupiały się razem i tworzyły coraz większe, chociaż porozsiewane po całym wszechświecie, gromady.



Co się dzieje, gdy grawitacja ściąga gromadę gazu i pyłu? To zależy od tego, jak duże jest to skupisko.

Jeśli jest to niewielka ilość masy, to grawitacji będzie w niej tylko tyle, by utworzyć coś w rodzaju asteroidy albo dużego kamienia. Może frappuccino. Grawitacja nie powoduje zapadnięcia się głazu albo twojej dużej kawy w maleńką kropkę, ponieważ jest w nich pewne wewnętrzne ciśnienie z oddziaływań innych niż grawitacyjne. Atomy kamienia nie lubią, gdy się je za mocno ściska (próbowałeś kiedyś wycisnąć diament ze skały? – nie jest łatwo) i stawiają opór. W końcu ustala się pewna równowaga między ściskaniem przez grawitację a wewnętrznym ciśnieniem głazu.

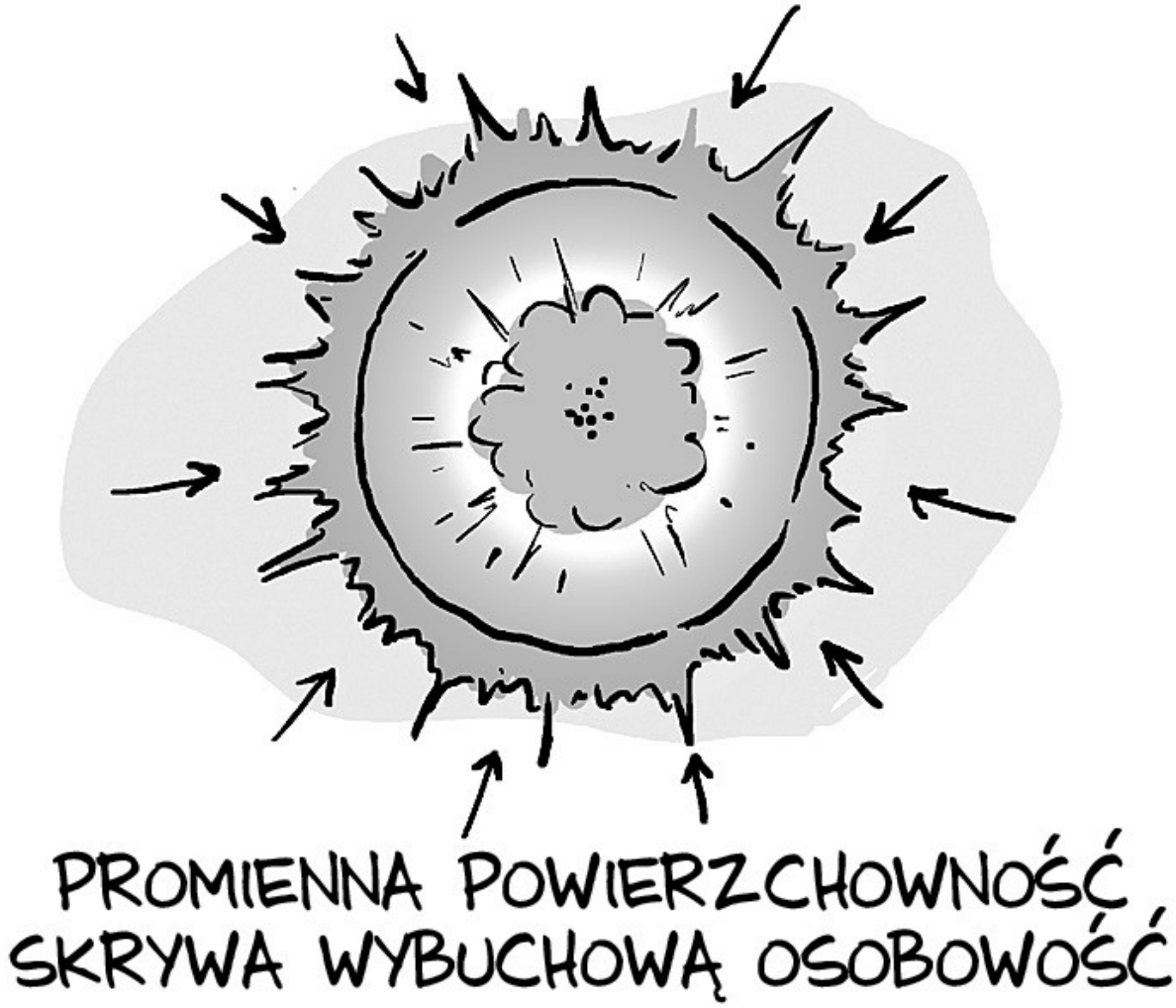


Jeśli jest to większa ilość masy – powiedzmy, że wystarczająca, by zrobić z niej planetę wielkości Ziemi – oddziaływania grawitacyjne są wystarczająco silne, by sprasować znajdujące się w centrum skały i metale w roztopioną lawę. Centrum Ziemi jest gorące i płynne wyłącznie z powodu grawitacji. Następnym razem, gdy będziesz drwić ze słabości grawitacji, zadaj sobie pytanie, czy potrafisz ścisnąć kamień tak, żeby stał się gorącą lawą.

Tak myślałem.

Jeśli ilość materii jest wystarczająco duża, oddziaływania grawitacyjne mogą wytworzyć na tyle gorącą plazmę, by tę masę zmienić w gwiazdę. Gwiazdy to w gruncie rzeczy bomby termojądrowe, które ciągle eksplodują; jedyne, co je przyhamowuje, to ich grawitacja. Grawitacja może i jest słaba, ale jeśli zebrać razem wystarczająco dużo masy, potrafi przez miliardy lat trzymać w ryzach nieustannie wybuchające bomby jądrowe. Powodem, dla którego te gwiazdy nie zapadają się natychmiast w gęstsze obiekty, również jest ich ciśnienie. Z chwilą gdy spalą całe swoje paliwo i nie są już w stanie zapewniać ciśnienia mogącego oprzeć się niepowstrzymanemu przyciąganiu grawitacji, niektóre gwiazdy zapadają się w czarne dziury.

Ta równowaga między grawitacją a ciśnieniem dotyczy bezwładnych głazów, planet z jądrem wypełnionym roztopioną lawą i z trudem powstrzymujących się przed wybuchem gwiazd termojądrowych. Wyjaśnia ona także, dlaczego mamy raczej gwiazdy gromadzące się w galaktyki niż po prostu gwiazdy albo czarne dziury losowo rozsiane po całym wszechświecie.

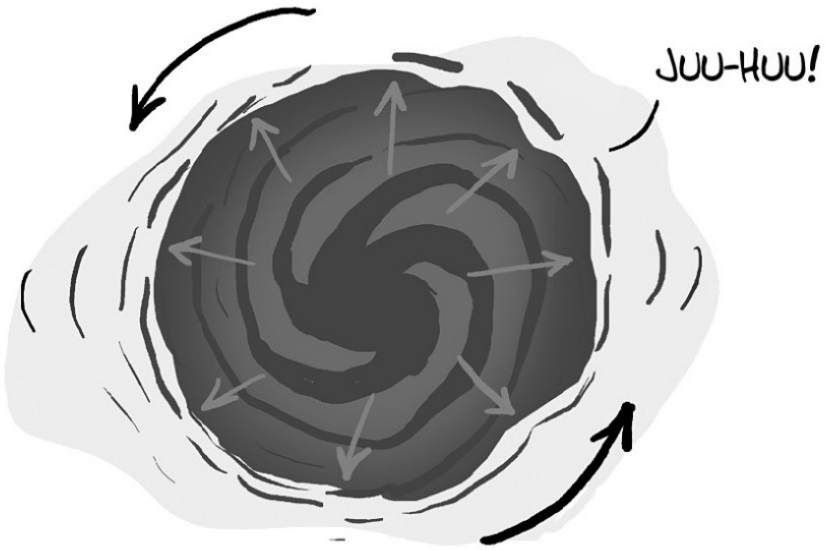


Pamiętaj, że większość masy we wszechświecie to nie ta, z której stworzone są planety i gwiazdy, i ziarnka kawy: mniej więcej 80 procent masy (27 procent całkowitej energii) występuje pod postacią ciemnej materii. Ciemna materia może podlegać pewnym oddziaływaniom, o których nie wiemy, ale nie mamy wątpliwości, że jej masa przyczynia się do działania grawitacji. Ponieważ jednak nie wykazuje oddziaływania elektromagnetycznego ani oddziaływania silnego, nie ma ona tego samego rodzaju ciśnienia, które opiera się grawitacji. Dlatego ciemna materia zbija się w gromady w ten sam sposób co normalna materia, ale nic tego procesu nie powstrzymuje, w związku z czym powstają ogromne halo. Wszędzie,

gdzie ciemna materia tworzy halo, silne grawitacyjne przyciąganie wciąga normalną materię. W rzeczywistości obecnie uważa się, że ciemna materia jest odpowiedzialna za to, że galaktyki ukształtowały się w początkowej fazie historii wszechświata. We wszechświecie bez ciemnej materii potrzeba by było wiele więcej miliardów lat, by utworzyły się pierwsze galaktyki. Tymczasem widzimy galaktyki, które uformowały się zaledwie kilkaset milionów lat po Wielkim Wybuchu, dzięki niewidzialnej ręce grawitacji ciemnej materii.

Grawitacja ściąga razem również galaktyki, ale całkowitemu zapadnięciu się w ogromną czarną dziurę opierają się one za pomocą różnego typu ciśnień, w zależności od konkretnego przypadku. Galaktyki spiralne nie zapadają się, ponieważ bardzo szybko wirują, a powstały dzięki temu moment pędu skutecznie trzyma wszystkie gwiazdy z dala od siebie. Z tego samego powodu ciemna materia nie zapada się w gęstsze skupiska. Prędkość i moment pędu cząstek ciemnej materii utrudniają grawitacji ich ściągnięcie w jedno miejsce.

I w ten oto sposób wylądowaliśmy we wszechświecie wypełnionym przeogromnymi strukturami w formie płacht i baniek złożonych z supergromad galaktyk, w każdej z nich są setki miliardów gwiazd kłębiących się wokół czarnych dziur, a wszędzie pełno pyłu, gazu i planet. I przynajmniej na jednej z tych planet są ludzie patrzący w gwiazdy oraz rozmyślający o ich istnieniu.



Ale jak daleko to wszystko sięga?

Czy te olbrzymie płachty i bańki ciągną się w nieskończoność? Czy może cała materia we wszechświecie bardziej przypomina wyspę albo kontynent, którego brzegi graniczą z nicością albo nieskończonością?

Po prostu: jak wielki jest wszechświat?

Rozmiar wszechświata

Gdyby jakimś cudem udało nam się wypić poczwórne podwójne espresso i z nieskończoną prędkością oblecieć cały wszechświat, wiele byśmy się dowiedzieli o tym, jak to wszystko jest urządzone, a co ważniejsze, dowiedzielibyśmy się, jak daleko to wszystko sięga.

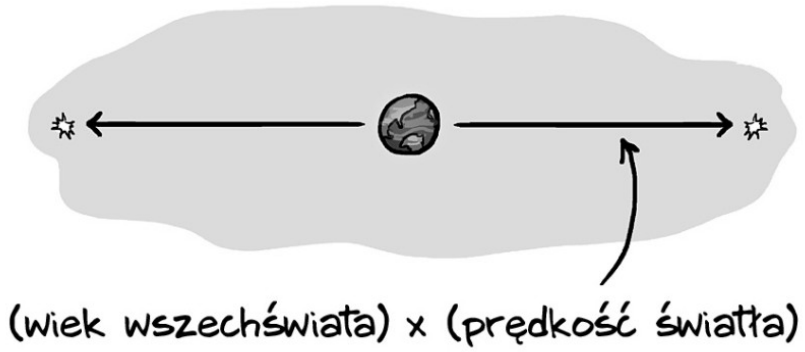
Niestety największe porcje espresso dostępne w większości kawiarni to podwójne podwójne (ewentualnie cztery pojedyncze)[8], a wszechświat ma sztywne ograniczenie prędkości, z jaką możemy po nim pędzić i robić zdjęcia. Znaczy to, że do czasu opracowania napędu warp musimy starać się odpowiedzieć na te pytania, korzystając wyłącznie z informacji, które docierają na Ziemię z Wielkiego Tamtego Tam.

Światło bije nas po oczach pięknymi obrazami dziwności wszechświata, ale miało na to tylko 13,8 miliarda lat. Oznacza to, że każdy obiekt znajdujący się w odległości większej niż wynikająca z podróży światła przez ten czas jest dla nas niewidzialny. Tuż za granicą, do której sięga nasz wzrok, mogłyby brykać sobie ziejące ogniem niebieskie smoki wielkości

galaktyki, a my nie mielibyśmy o tym pojęcia. Oczywiście nic nie wskazuje na istnienie tych smoków, ale jakie są szanse, że wszystko, co znajduje się poza zakresem naszego widzenia, jest dokładnie takie samo jak to, co widzimy dokoła? Naturze nieobce są dziwaczne i zaskakujące rewelacje.

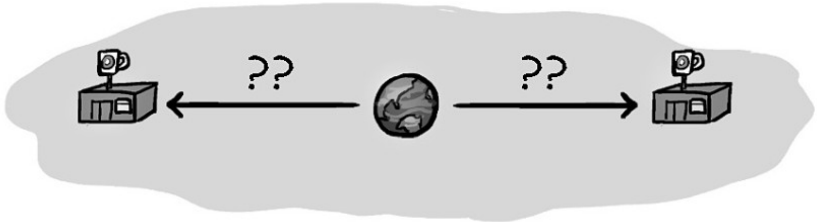
Sfera rozciągająca się do naszego horyzontu, zwana widzialnym wszechświatem, jest bardzo rozległa. Wprawdzie nie sposób zobaczyć, co jest poza nią, ale możemy dokładnie wymyślić, jak szeroka ona jest. Zastanów się, jakie są możliwości:

a. Skoro nic nie potrafi poruszać się szybciej, niż wynosi prędkość światła, widzialny wszechświat musi mieć wielkość równą wiekowi wszechświata pomnożonemu przez prędkość światła, czyli 13,8 miliarda lat świetlnych w każdą stronę.



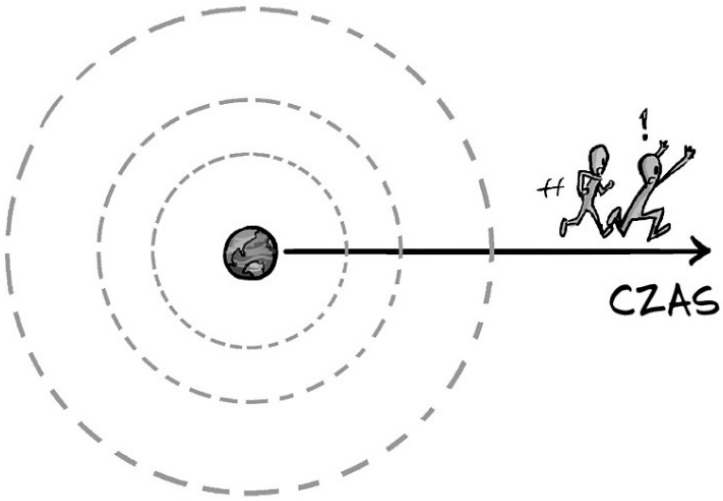
b. Skoro sama przestrzeń jest czymś, co może rozszerzać się szybciej, niż wynosi prędkość światła (i tak się rozszerzała), widzimy to, co kiedyś mieściło się wewnątrz naszego horyzontu, ale teraz jest już poza nim, aż do mniej więcej 46,5 miliarda lat świetlnych w każdą stronę.

c. Widzialny wszechświat to odległość między dwoma najbardziej od siebie oddalonymi Starbucksami, obecnie nieznana nauce z powodu szybkiego otwierania nowych placówek.



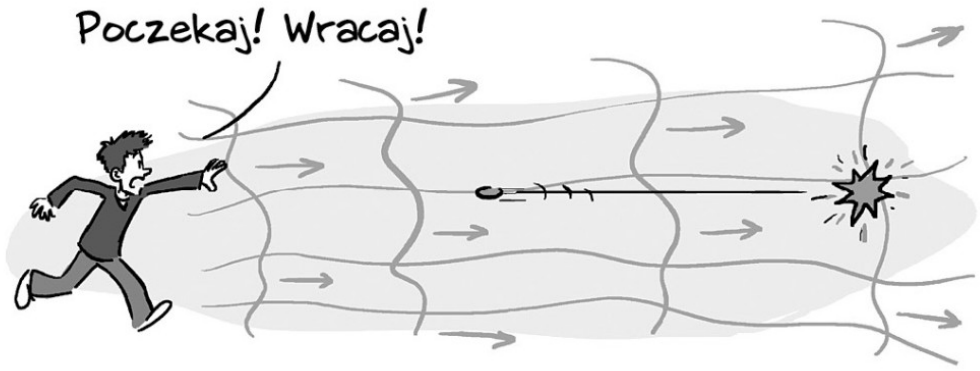
Poprawna odpowiedź to b. Dzięki rozszerzaniu się przestrzeni możemy widzieć to, co kiedyś było bliżej nas, niż jest teraz. Zatem widzialny wszechświat jest dużo większy niż prędkość światła pomnożona przez wiek wszechświata. Obejmuje to wszechświat, który widzimy dzisiaj.

Dobra wiadomość jest taka, że widzimy mnóstwo: w przybliżeniu od 10^{80} do 10^{90} cząstek w tryliardach gwiazd w wielu miliardach galaktyk. Inna dobra wiadomość jest taka, że co roku nasz widzialny wszechświat – nasz widzialny horyzont – poszerza się o przynajmniej rok świetlny bez najmniejszego wysiłku z naszej strony[9]. A dzięki potędze matematyki objętość widzialnego wszechświata rośnie jeszcze szybciej, ponieważ warstwa przestrzeni dodawana co roku ma większą objętość niż warstwa z poprzedniego roku, co znaczy, że liczba galaktyk z zachwycającymi górami, których nigdy nie odwiedzisz, staje się liczbą dla nas prawie niepojętą.



Ale to nie takie proste. Obiekty poruszają się w przestrzeni, oddalając się od nas, a równocześnie sama przestrzeń się rozszerza. Istnieją obiekty, których odległość od nas rośnie tak szybko, że światło od nich nigdy do nas nie dotrze. Innymi słowy, widzialny wszechświat może nigdy nie dogonić

wszechświata rzeczywistego, co znaczy, że możemy nigdy nie zobaczyć pełnego zakresu wszystkiego, co jest.



Jest też zła wiadomość. Nie wiemy na pewno, jak daleko rozciąga się wszechświat. Tak naprawdę być może nigdy się tego nie dowiemy, co jest jeszcze gorszą wiadomością dla tych z was, którzy chcieliby zostać kartografami kosmosu.

No to po prostu zgadujmy

Jak wielki jest cały wszechświat? Istnieje kilka możliwości.

Skończony wszechświat w nieskończonej przestrzeni

Jedna możliwość jest taka, że wszechświat jest skończony co do rozmiarów, ale z powodu rozszerzania się przestrzeni wykracza poza nasz horyzont. Niektórzy naukowcy opowiedzieli się za tą opcją i próbowali oszacować rozmiary materii we wszechświecie, przyjmując pewne sensownie brzmiące założenia, takie jak:

Przed inflacją rozmiary wszechświata były w przybliżeniu równe iloczynowi prędkości światła i wieku wszechświata, ponieważ przestrzeń

nie zaczęła się jeszcze rozciągać.

Liczba cząstek we wszechświecie jest całkiem duża.

Tak naprawdę nikt nie potrafi zastanawiać się nad liczbami większymi niż 10^{20}, wobec tego można snuć w zasadzie dowolne przypuszczenia.

Jeśli przyjmiesz te założenia i połączysz je z naszym obecnym rozumieniem tego, jak bardzo rozciągnęła się przestrzeń w czasie Wielkiego Wybuchu oraz jak bardzo rozciąga się teraz z powodu ciemnej energii, będziesz w stanie oszacować rozmiary całego wszechświata.

Ale w zależności od przyjętych przez ciebie założeń uzyskane odpowiedzi będą się wahać o ponad 20 rzędów wielkości (10^{20}). Pewnie wydaje ci się, że skoro tak, to sprawa jest jeszcze daleka od rozwiązania – i masz rację. Gdyby ktoś powiedział ci, że powierzchnia twojego domu wynosi gdzieś między 200 a 10 000 000 000 000 000 000 000 metrów kwadratowych, słusznie byś się domyślał, że ów ktoś chyba zgaduje. Nawet jeśli jakimś cudem uwierzymy w bezpodstawne założenie, że ilość materii we wszechświecie jest skończona, wciąż nie mamy pojęcia, jak wielki jest wszechświat.

Mimo całej tej niepewności istnieje parę scenariuszy, zgodnie z którymi moglibyśmy być w stanie ustalić jakoś rozmiar wszechświata.

Skończony wszechświat w skończonej przestrzeni

Jeśli wszechświat ma zakrzywiony kształt, możliwe, że przestrzeń przypomina powierzchnię sfery, ale w trzech (lub więcej) wymiarach. W takim wypadku sama przestrzeń jest skończona. Zatacza pętlę dokoła, tak że przemieszczanie się w jednym kierunku doprowadzi cię w końcu z powrotem do miejsca, z którego wyruszyłeś. Byłoby to wprawdzie zdumiewające, ale przynajmniej wiedzielibyśmy, że wszechświat jest skończony, a nie nieskończony.

Ale w ramach tego scenariusza, za którym nie nadąża nasz mózg, światło poruszające się przez taki wszechświat również zataczałoby pętlę (przy założeniu, że ta pętla byłaby dość mała) i mogłoby na swojej drodze mijać Ziemię niejeden raz. Coś takiego moglibyśmy naprawdę zaobserwować! Zauważyłbyś to, widząc kilka razy te same obiekty na niebie – każdy taki obraz powstawałby zawsze wtedy, gdy światło zataczałoby pętlę[10]. Naukowcy poszukiwali tego rodzaju efektów zarówno w strukturze galaktyk, jak i w mikrofalowym promieniowaniu tła, ale nie znaleźli żadnych takich śladów. Znaczy to, że jeśli wszechświat jest skończony i zapętlony, musi być większy niż to, co widzimy.

Nieskończony wszechświat

Nie można też wykluczyć, że przestrzeń jest nieskończona oraz wypełniona nieskończoną ilością materii i energii. Ta możliwość jest zagmatwana, ponieważ nieskończoność to dziwne pojęcie. Znaczy to, że jeśli istnieje choćby najmniejsza szansa, że coś się wydarzy (bez względu na to, jak mało jest to prawdopodobne – dopóki prawdopodobieństwo jest różne od zera), gdzieś we wszechświecie się wydarza. W nieskończonym wszechświecie jest ktoś, kto wygląda jak ty i czyta pewną wersję tej książki wydrukowaną na płótnie żaglowym w kropki. Gdzieś jest trawiasta planeta pełna niebieskich smoków, wszystkie mają na imię Samuel i ciągle mylą się, który jest który. Myślisz, że te scenariusze brzmią mało prawdopodobnie? Masz rację. Ale w nieskończonym wszechświecie wszystko, co może się zdarzyć, zdarza się. Aby ustalić, jak często coś się zdarza w nieskończonym wszechświecie, mnoży się prawdopodobieństwo tego czegoś przez nieskończoność. A zatem dopóki możliwość jest niezerowa, to coś się wydarzy. I nie tylko wydarza się raz: wydarza się nieskończoną liczbę razy. Byłoby więc nieskończenie wiele planet pełnych zakręconych niebieskich smoków biegających po zielonej trawce. No wiesz: trawka, smoki, te rzeczy.

Ale jak nieskończony wszechświat może być spójny z tym, co widzimy? Czy wszechświat może być nieskończony oraz rozszerzać się, począwszy od Wielkiego Wybuchu? Tak, ale tylko pod warunkiem, że nie zakładasz rozpoczęcia Wielkiego Wybuchu od jednego punktu. Wyobraź sobie Wielki Wybuch, który wydarzył się wszędzie w tym samym czasie. Gdy się to czyta, trudno to sobie wyobrazić, nie powodując obryzgania własnym mózgiem osoby stojącej obok, ale też jest to całkowicie spójne z tym, co obserwujemy. W tego rodzaju wszechświecie Wielki Wybuch eksplodował wszędzie naraz.

Który z tych scenariuszy (skończona materia w nieskończonej przestrzeni, skończona materia w skończonej przestrzeni, nieskończona

materia w nieskończonej przestrzeni) to nasza rzeczywistość? Nie mamy pojęcia.

I dlaczego wszechświat jest taki pusty?

Kolejna wielka tajemnica na temat struktury wszechświata: dlaczego wszechświat jest taki pusty? Dlaczego gwiazdy i galaktyki nie są bliżej siebie – albo dalej?

Zobaczmy to we właściwej perspektywie: nasz Układ Słoneczny ma jakieś 9 miliardów kilometrów średnicy, ale najbliższa gwiazda jest od nas oddalona o mniej więcej 40 000 miliardów kilometrów. A nasza Galaktyka ma jakieś 100 000 lat świetlnych szerokości, ale najbliższa galaktyka, Galaktyka Andromedy, położona jest w odległości około 2 500 000 lat świetlnych od nas.

Bez względu na to, jak wielki jest kosmos i jaki ma kształt, wydaje się, że miejsca jest w nim mnóstwo i wszystko mogłoby być bliżej siebie. Przecież wszechświat to nie żaden kosmiczny rodzic, który musi rozdzielać wszystkie gwiazdy i galaktyki, bo ciągle sprzeczają się na tylnym siedzeniu, a on nie może spokojnie prowadzić.

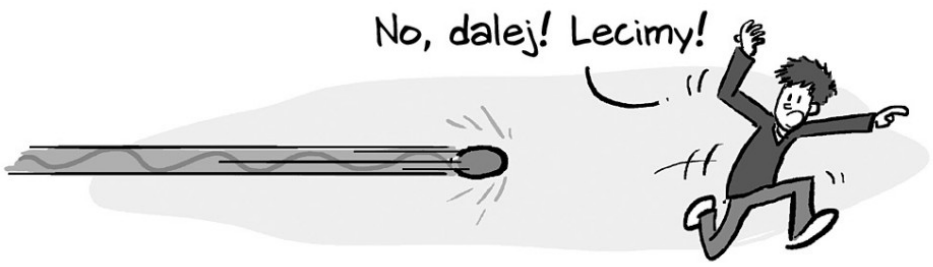
Na szczęście pustka to kwestia perspektywy i możemy nasze pytanie podzielić na dwa różne:

Dlaczego nie możemy poruszać się szybciej niż z prędkością światła?

oraz:

Dlaczego przestrzeń rozszerzyła się w czasie Wielkiego Wybuchu i dlaczego dzisiaj nadal się rozszerza?

Prędkość światła to kosmiczna miara określająca, co rozumiemy przez „blisko” i „daleko”. Gdyby prędkość światła była dużo, dużo wyższa, wówczas bylibyśmy w stanie widzieć dalej i przemieszczać się szybciej, a wszystko nie wydawałoby się takie odległe. Gdyby prędkość światła była znacznie niższa, jeszcze bardziej niemożliwe wydawałoby się dostanie się do naszych odległych sąsiednich gwiazd czy choćby wysyłanie tam esemesów[11].



Z drugiej strony nie możemy zrzucać wszystkiego na prędkość światła. Gdyby przestrzeń nie rozciągnęła się aż tak bardzo w pierwszych ułamkach sekundy po Wielkim Wybuchu, dzisiaj wszystko byłoby znacznie bliżej siebie. A gdyby ciemna energia nie rozpychała obecnie wszystkiego jeszcze dalej, to perspektywy podróży międzygwiezdnych nie pogarszałyby się z minuty na minutę[12]. Możemy sobie wyobrazić wszechświat, w którym

inflacja ograniczyła się do nadmuchania wszechświata do rozsądniejszych rozmiarów niż absurdalny czynnik 10^{32}.

A zatem pustka naszego wszechświata wynika z wzajemnej zależności między tymi dwiema wielkościami: prędkością światła, która określa skale odległości, oraz rozszerzaniem się przestrzeni, które powoduje oddalanie się wszystkiego od siebie. Nie wiemy, dlaczego każda z tych wielkości ma dokładnie taką wartość, jaką ma, ale gdyby je zmienić, uzyskalibyśmy wszechświat, który wyglądałby zupełnie inaczej niż nasz. Podobnie jak to jest z innymi wielkimi tajemnicami, mamy tylko ten nasz jeden wszechświat do badania, więc nie wiemy, czy to jedyny sposób, w jaki da się go uporządkować, ani też czy w innych wszechświatach jest bardzo mało rozszerzania się i wszyscy czują się sobie znacznie bliżsi niż my.

Zmierz to wszystko wzrokiem

Sącząc swój ulubiony gorący napój z kofeiną i patrząc w nocne niebo, pomyśl o tym, że to wszystko, co wiemy na temat rozmiaru i budowy wszechświata, pochodzi z tego, co możemy zobaczyć z Ziemi. Oczywiście

wysyłamy sondy na inne planety, wystrzeliwujemy w kosmos teleskopy, a nawet transportujemy ludzi na Księżyc, ale z perspektywy kosmosu zasadniczo nigdzie się nie ruszyliśmy. To, czego dowiedzieliśmy się o wszechświecie, wywnioskowaliśmy z patrzenia w górę z naszego zakątka kosmosu.

Mimo tego skromnego punktu obserwacyjnego potrafiliśmy odpowiedzieć na pradawne pytania (Czym są gwiazdy? Dlaczego się poruszają?) i odeszliśmy od wielowiekowych błędnych wyobrażeń (że jesteśmy centrum wszechświata).

Ale jak daleko to wszystko sięga? Czy żyjemy w skończonym czy nieskończonym wszechświecie? Co się stanie ze strukturą wszechświata za kilka miliardów lat? Odpowiedzi na te pytania mają ogromne konsekwencje dla postrzegania wszechświata i naszego miejsca w nim.

[1] Pal licho Plutona.

[2] Naszą inteligentnie nazwano „Grupą Lokalną”.

[3] W najlepszym wypadku mieszkamy w Pcimiu.

[4] Zrzuciłeś parę kilo? Wyglądasz po prostu świetnie!

[5] Niewykluczone również, że wszechświat jest skończony, ale nie ma centrum, jeśli przestrzeń jest zakrzywiona. Pomyśl o skończonej powierzchni sfery, która nie ma centrum.

[6] Już od początku wszechświat wymykał się spod kontroli. Dosłownie.

[7] „Mocarze! Patrzcie na moje zakrojone na szeroką skalę supergromady i przed moją chwałą gińcie z rozpaczy!” (Trawestacja cytatu z wiersza *Ozymandias* Percy’ego Bysshe’a Shelleya w przekładzie Adama Asnyka – przyp. tłum.).

[8] Dziwnie na nas patrzą, kiedy zamawiamy cztery podwójne espresso.

[9] W zależności od tempa rozszerzania się przestrzeni, które jest obecnie większe od zera.

[10] To coś innego niż widzenie podwójnych obiektów na niebie z powodu soczewkowania grawitacyjnego, które także zniekształca obiekty. W tym wypadku wielorakie wersje pojawiałyby się bez zniekształceń.

[11] Opłaty roamingowe by nas zabiły.

[12] Niełądnie, ciemna energio, oj, niełądnie!

16

Czy istnieje teoria wszystkiego?

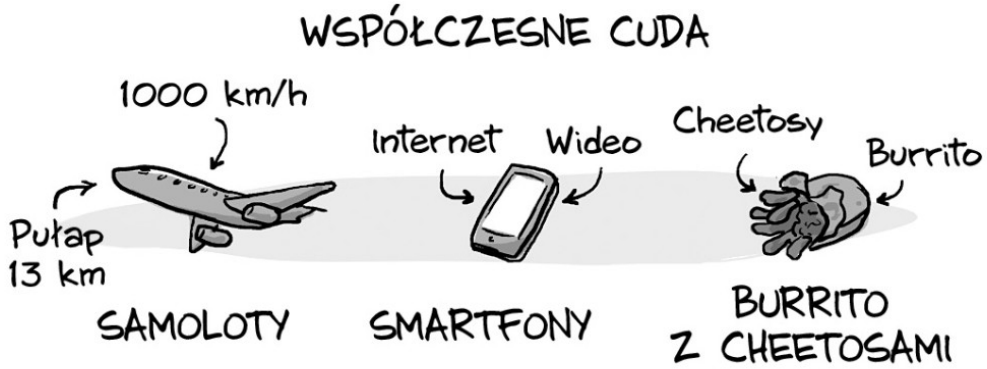
Jaki jest najprostszy opis wszechświata?

Dopiero niedawno zaczęliśmy lepiej rozumieć otaczający nas świat.
W okresie poprzedzającym tych parę ostatnich stuleci postępu nauki bardzo często w ludzkim doświadczaniu zwykłych przedmiotów i wydarzeń dominowało kompletne zagubienie. Co ludzie w dawnych czasach myśleli o błyskawicach? Albo o gwiazdach? O chorobach? O magnetyzmie? O pawianach? Świat wydawał się pełen tajemniczych obiektów, dziwacznych zwierząt i potężnych sił przekraczających możliwości naszego rozumienia.

RÓWNIE TAJEMNICZE: MAGNETYZM PAWIANÓW

W ostatnich czasach uczucie to zastąpiła spokojna, naturalna ufność pokładana w nauce – poczucie, że świat wokół nas da się opisać za pomocą racjonalnych praw, które możemy odkrywać. To całkiem nowe doświadczenie w kontekście ludzkich dziejów. Dziś nieczęsto napotykasz coś całkowicie tajemniczego w codziennym życiu. Prawie nigdy nie widujesz niczego, co może tobą wstrząsnąć albo co nie ma wyjaśnienia. Błyskawice, gwiazdy, choroby, magnetyzm, a nawet tajemnicze pawiany – to wszystko w znacznym stopniu podlega wyjaśnieniu jako zjawiska naturalne: jako coś, co może budzić strach lub podziw, ale ostatecznie rządzą tym prawa fizyki. Doświadczenie niemożności znalezienia jakiegoś wyjaśnienia jest dziś tak rzadkie i świeże, że płacimy, by móc znowu je poczuć; dlatego tyle radości czerpiemy z pokazów sztuczek magicznych.

Oprócz zwykłego rozumienia posiedliśmy także imponująco drobiazgowe panowanie nad najbliższym otoczeniem; potrafimy regularnie latać za ocean ważącymi czterysta ton samolotami, posługiwać się mechaniką kwantową miliardów tranzystorów w układach scalonych naszych komputerów, rozkrajać ludzi i wkładać im do środka części wycięte z innych ciał oraz przewidywać nawyki godowe podnieconych pawianów. Naprawdę – żyjemy w wieku cudów.



Ale jeśli jesteśmy tacy dobrzy w wyjaśnianiu ogólnych tendencji i drobnych szczegółów naszego codziennego świata, czy znaczy to, że już wszystko rozgryźliśmy? Czy nasze teorie tłumaczą naprawdę wszystko?

Jeśli tylko nie pominąłeś pierwszych rozdziałów tej książki, pewnie zdajesz sobie sprawę, że odpowiedź brzmi: zdecydowanie nie. Zasadniczo tkwimy w mroku niewiedzy: nie mamy pojęcia, czym wypełniony jest wszechświat (czyli czym jest ciemna materia) i jak opisać najpotężniejsze oddziaływania, które tym czymś rządzą (ciemną energię, grawitację kwantową). Wydaje się, że nasza biegłość ma zastosowanie tylko do maleńkiego zakątka wszechświata, a zewsząd otacza nas nieprzebrany ocean niewiedzy.

Jak pogodzić te dwa fakty: że rozumiemy świat wokół nas, ale pozostajemy ignorantami co do funkcjonowania wszechświata? Jak blisko jesteśmy odkrycia ostatecznej teorii – teorii wszystkiego? Czy taka teoria istnieje? Czy będzie ona oznaczać ostateczny koniec tajemnic we wszechświecie?

Czym jest teoria wszystkiego?

Zanim poświęcimy zbyt wiele czasu na gadanie o tym, upewnijmy się, że dokładnie rozumiemy, co mamy na myśli, mówiąc o „teorii wszystkiego”. Ujmując to prosto, teoria wszystkiego byłaby najprostszym możliwym matematycznym opisem przestrzeni, czasu, całej materii i oddziaływań we wszechświecie na najgłębszym poziomie.

Rozłóżmy to na czynniki pierwsze.

Włączamy do definicji materię, ponieważ ta teoria ma opisywać wszystko, z czego składa się wszechświat, oraz oddziaływania – ponieważ chcemy, żeby opisywać coś więcej niż po prostu bezwładne masy

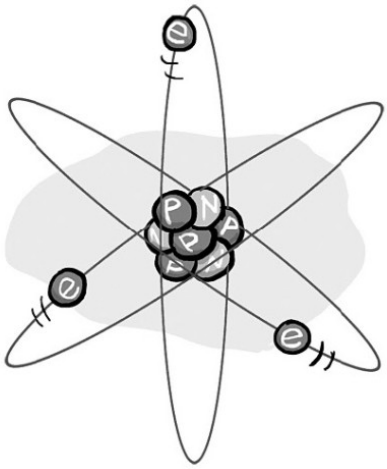
substancji. Chcemy wiedzieć, jak materia wzajemnie ze sobą oddziałuje i co z tego wynika.

Włączamy również przestrzeń i czas, ponieważ wiemy, że oba te pojęcia są na pewnym poziomie plastyczne oraz wpływają na materię i oddziaływania we wszechświecie (a także materia i oddziaływania wpływają na te pojęcia).

Co najważniejsze, mówimy o najprostszym opisie i najgłębszym poziomie, ponieważ chcemy, żeby ta teoria była najbardziej fundamentalnym opisem wszechświata, jaki tylko jest możliwy. Najprostszy opis oznacza, że nie powinien dawać się upraszczać i powinno w nim być to, co najistotniejsze (tzn. jak tylko się da najmniej zmiennych czy niewyjaśnionych stałych). Pod pojęciem „najgłębszy poziom” rozumiemy, że ta teoria powinna opisywać wszechświat w najmniejszej możliwej skali. Chcemy znaleźć najdrobniejsze niepodzielne klocki Lego, z których wszystko się składa, i chcemy znać absolutnie podstawowe mechanizmy, dzięki którym się do siebie dopasowują.

Bo widzisz, żyjemy we wszechświecie, który przypomina cebulę. Nie dlatego, że wszyscy płaczą, kiedy go kroisz, ani nie dlatego, że jest niezbędnym składnikiem każdej dobrej zupy, ale dlatego, że składają się na niego kolejne warstwy emergentnych (wyłaniających się) zjawisk.

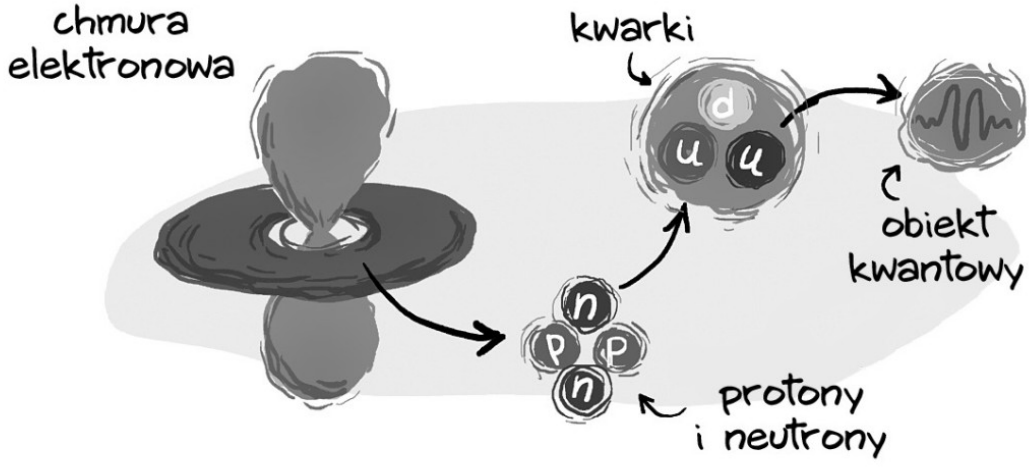
Weź na przykład ten model atomu:



Ten schemat przedstawia teorię, że atomy składają się z elektronów krążących po orbicie wokół jądra złożonego z protonów i neutronów. Jest to zapewne jeden z najbardziej uznanych obrazów w nauce. Niesamowite osiągnięcie, jakie się z nim wiązało, nie tylko dotyczyło PR-u, ale też oznaczało, że przeszliśmy od początkowego wyobrażenia, zgodnie z którym atom jest fundamentalną jednostką materii, do głębszego

i bardziej fundamentalnego: że atomy składają się z jeszcze mniejszych części.

Ale nawet to okazało się wersją niepełną. W rzeczywistości niektóre z tych mniejszych części składają się z jeszcze mniejszych (protony i neutrony składają się z kwarków). A na dodatek okazuje się, że rzeczy w tej skali zachowują się w całkowicie inny sposób, niż się spodziewaliśmy. Tak naprawdę trudno o większą rozbieżność w stosunku do oczekiwań. Elektrony, protony i neutrony nie są małymi sferycznymi kulkami o twardej powierzchni, które skupiają się w grupki i krążą wokół siebie. To rozmyte cząstki kwantowe, opisywane przez fale, a ich zachowaniem rządzi zasada nieoznaczoności i rozkład prawdopodobieństwa.



ATOM 2: POWRÓT DO ŹRÓDEŁ

Ale wszystkie te wyobrażenia do pewnego stopnia się potwierdzają. Obraz atomów jako małych kulek bilardowych sprawdza się do opisu tego, jak atomy gazu odbijają się wewnątrz pojemnika. A obraz atomów jako małych grudek, wokół których krążą elektrony, sprawdza się do opisu wszystkich pierwiastków w układzie okresowym. Z kolei nowe kwantowe

ujęcie cząstek świetnie się sprawdza do opisu najrozmaitszych zjawisk naturalnych.

Chodzi o to, że jak się wydaje, żyjemy we wszechświecie, w którym pewne teorie mogą się idealnie sprawdzać, nawet jeśli całkowicie pomijają to, co dzieje się pod spodem, w mniejszej skali. Innymi słowy, możesz trafnie przewidzieć kolektywne działanie wszystkich małych części jakiejś większej całości, nawet jeśli nic nie wiesz na temat funkcjonowania tych małych części (ani nawet nie wiesz, czy istnieją).

Na przykład cała sfera ekonomii, którą można zasadniczo opisać matematycznie (przy założeniu, że ludzie stawiają opór swoim wewnętrznym pawianom i działają racjonalnie), jest zjawiskiem wynikającym z psychologii jednostek. Działania wielu poszczególnych kupujących i sprzedających, którzy podejmują decyzje kupna i sprzedaży, powodują zmiany cen w dużej skali, co da się opisać przy użyciu paru prostych równań. Można analizować i opisywać ekonomię dużej grupy, nie rozumiejąc wyborów ani motywów poszczególnych jednostek.

I w fizyce mamy mnóstwo tego przykładów. Na przykład mimo że nie odkryliśmy najbardziej podstawowego elementu materii i wciąż nie mamy pojęcia, jak działa grawitacja w świetle teorii kwantowej, to i tak potrafimy bardzo trafnie przewidzieć, co się stanie, gdy małpa wskoczy ci z dachu do basenu. Mamy bardzo użyteczne teorie, które potrafią przewidzieć ruch

spadającej małpy; mamy teorie dynamiki płynów, które potrafią opisać powstały plusk; i mamy teorie zachowania, które wyjaśniają, dlaczego nie lubisz, gdy z basenu zalatuje mokrą małpą.

W rzeczywistości we wszechświecie istnieje mnóstwo warstw tych teorii, a każda opisuje emergentne zjawiska na różnych poziomach. Długo przed tym, nim dowiedzieliśmy się o DNA, stworzyliśmy teorię ewolucji, a człowieka na Księżyc wysłaliśmy długo przed tym, nim dowiedzieliśmy się o bozonie Higgsa i wielu cząstkach fundamentalnych, które dziś znamy i kochamy.

To ważne, ponieważ ostateczna teoria – taka, po której ogłoszeniu fizycy odwieszą fartuchy, teatralnym gestem upuszczą mikrofon, wyrzucą ręce w górę, powiedzą: „No to zrobione” i odejdą (zapewne jako bezrobotni) – będzie opisywać naturę na poziomie jej najbardziej fundamentalnego rdzenia. Ostateczna teoria nie będzie opisywać jakiegoś zjawiska wynikającego z czegoś innego, co stanowi prawdziwe podstawowe elementy, podstawowe klocki wszechświata; będzie mówić właśnie o tych prawdziwych podstawowych klockach wszechświata i o tym, jak one do siebie pasują.

Za sprawą tego wątpliwe staje się samo pojęcie teorii wszystkiego, ponieważ możliwe, że nigdy nie będziemy wiedzieć ze stuprocentową pewnością, czy do takiej teorii dotarliśmy. Możliwe, że dotrzemy do jakiejś teorii, o której będziemy sądzić, że jest fundamentalna, ale tak naprawdę okaże się, że opisuje ona tylko zbiorowe zachowanie jakichś maleńkich, submikroskopijnych pawianów skrywających się pod kolejną warstwą cebuli wszechświata. Jak to odróżnić?

Co gorsza, być może wszechświat ma nieskończoną liczbę warstw. Może ostateczna teoria w ogóle nie istnieje? Może pawiany tworzą nieskończony ciąg?

Nieskończony ciąg pawianów

Skoro już podaliśmy definicję teorii wszystkiego, przyjrzyjmy się, jak daleko zaszliśmy dotychczas w rozumieniu natury na jej najgłębszym poziomie – nieważne przy tym, czy jest to absolutnie konieczne do wyciągania małp z basenu.

Jedno z pytań, które możemy postawić, brzmi: czy we wszechświecie istnieje najmniejsza odległość? Zwykliśmy myśleć, że odległość ma nieskończoną rozdzielczość – to znaczy, że można zapisać dowolnie małą odległość jako 0,00000…00001, gdzie „…” reprezentuje nieskończoną liczbę zer. A co, jeśli tak nie jest? Co, jeśli istnieje pewna odległość, poniżej której mniejsze odległości nie są już użyteczne albo sensowne – tak jak to jest z pikselami na ekranie komputera? Gdyby taka odległość istniała, to z chwilą, gdy opracowalibyśmy teorię opisującą obiekty i oddziaływania w jej skali, moglibyśmy być całkiem pewni, że ta teoria jest fundamentalna, ponieważ niczego mniejszego nie może już być. Jeśli jednak nie ma takiej odległości, jeśli rzeczy mogą być nieskończenie małe albo przemieszczać

się na nieskończenie małe odległości, to nigdy nie możemy mieć pewności, że pod spodem nie chowa się coś jeszcze.

Innym sposobem podejścia do tej kwestii jest pytanie, czy obiekty w naszej teorii, czyli opisywane przez nią klocki Lego, są naprawdę fundamentalne, czy też składają się z jeszcze mniejszych klocków Lego. Czy elektron, kwarki i inne cząstki, które odkryliśmy, są najmniejszymi fragmentami materii we wszechświecie? Czy w ogóle istnieje najmniejsza cząstka?

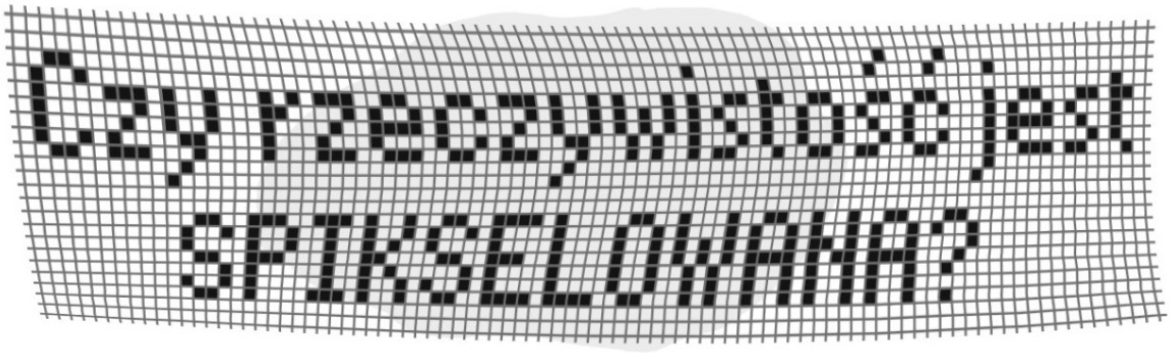
Ostatnie pytanie dotyczy tego, w jaki sposób te obiekty ze sobą oddziałują. Czy na różne sposoby (tzn. wiele oddziaływań różnego rodzaju), czy też na tylko jeden sposób, który przejawia się w różnych postaciach? Jaki jest najbardziej fundamentalny opis oddziaływań we wszechświecie?

Zacznijmy od najmniejszej odległości.

Najmniejsza odległość

Czy istnieje najmniejsza odległość, jakaś fundamentalna rozdzielczość naszego wszechświata? Czy rzeczywistość jest spikselowana w skali, poniżej której nie da się już jej opisać? Poświęćmy chwilę na zastanowienie się, jakie to dziwne – wyobrażenie, że rzeczywistość mogłaby być spikselowana.

Mechanika kwantowa mówi, że nie możemy znać położenia cząstki z nieskończoną dokładnością. Jest tak dlatego, że obiekty mechaniki kwantowej są w rzeczywistości rozmytymi falowymi wzbudzeniami pól kwantowych o nieodłącznych losowych właściwościach. Ale mechanika kwantowa mówi ponadto, że dokładne położenie cząstki jest nieokreślone, że informacja o jej położeniu poniżej pewnej odległości nie istnieje. Jest to pewna wskazówka, że być może we wszechświecie istnieje coś takiego jak najmniejsza sensowna odległość – konsekwencja kwantyzacji odległości, o której możemy myśleć jak o pikselizacji przestrzeni.



Ale jeśli rzeczywistość jest spikselowana, jak małe są te piksele? Naprawdę nie mamy pojęcia, ale pewne bardzo przybliżone przypuszczenia

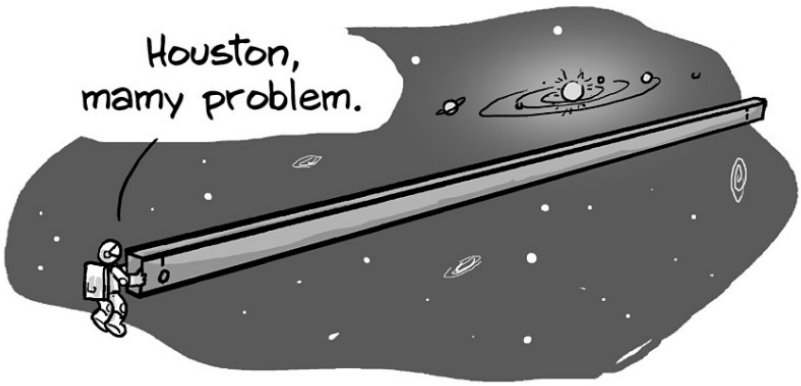
mają fizycy, którzy rozglądają się dokoła i łączą ze sobą różne fundamentalne stałe mówiące nam coś podstawowego o wszechświecie. Pierwszą z nich jest stała mechaniki kwantowej *h*, znana jako stała Plancka. Jest to bardzo ważna liczba, ponieważ wiąże się ona z fundamentalnym skwantowaniem energii, czyli czymś w rodzaju spikselizowania energii.

Aby uzyskać liczbę określającą odległość (na przykład w jednostkach wyrażonych w metrach), fizycy pomnożyli stałą Plancka przez dwie inne stałe: maksymalną prędkość możliwą we wszechświecie (*c*, prędkość światła) i stałą grawitacji (*G*). Jeśli połączymy je w pewien określony sposób, możemy uzyskać liczbę, której jednostki wyrażają odległość[1]. Okazuje się, że liczba ta jest bardzo, bardzo mała: wynosi 10^{-35} metra, czyli 0,00000000000000000000000000000001 metra.

Tę liczbę nazywamy długością Plancka. Co ona oznacza? Tak naprawdę to nie wiemy, ale możliwe, że daje nam jakieś przybliżone oszacowanie wielkości pikseli przestrzeni wszechświata. W rzeczywistości nie ma żadnego uzasadnienia dla połączenia tych liczb z wyjątkiem tego, że każda z nich reprezentuje pewien podstawowy składnik fizyki, która może się wydarzać na poziomie kwantowym, zatem razem mogą być dla nas wskazówką na temat fundamentalnej skali wszechświata.

Czy potrafimy to potwierdzić? Jeszcze nie. W dziedzinie narzędzi pozwalających badać małe odległości dokonaliśmy ogromnego postępu: od mikroskopów optycznych, które potrafią zajrzeć w głąb materii na poziomie długości fali użytego światła (mniej więcej 10^{-7} metra), doszliśmy do mikroskopów elektronowych, które potrafią badać materię w skali 10^{-10} metra. Ponadto wysokoenergetyczne zderzenia w zderzaczach cząstek pozwoliły zajrzeć do wnętrza protonu i obserwować odległości rzędu 10^{-20} metra.

Niestety znaczy to, że brakuje nam 15 rzędów wielkości do przyglądania się rzeczywistości tak, by widzieć długość Plancka. A to oznacza, że zapewne wciąż przegapiamy mnóstwo szczegółów. Jak dużo? Wyobraź sobie, że twoja najkrótsza linijka albo najmniejsza rzecz, jaką może zobaczyć twoje oko, ma 1 000 000 000 000 000 (10^{15}) metrów długości. To sto razy więcej, niż wynosi szerokość Układu Słonecznego. Gdyby twoja najkrótsza linijka była tej długości, to nie miałbyś najmniejszego pojęcia o całym mnóstwie najrozmaitszych niezwykłych rzeczy. Przy różnicy piętnastu rzędów wielkości można przegapić naprawdę dużo.



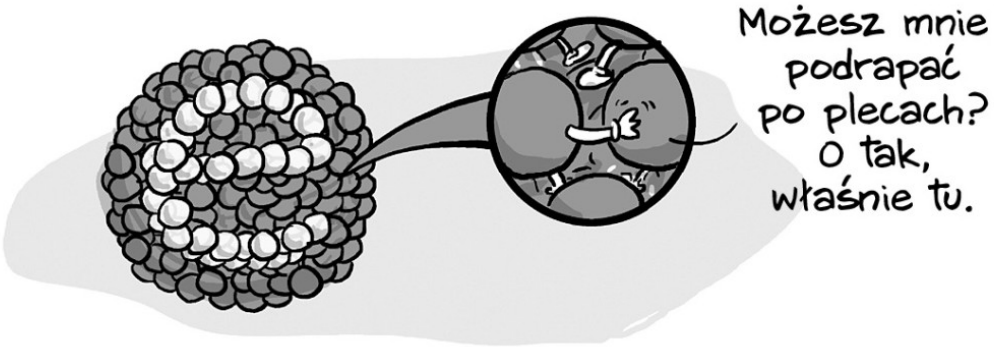
Czy istnieje jakakolwiek nadzieja, że uda się nam badać rzeczywistość na poziomie długości Plancka? Postęp techniczny przeniósł nas z poziomu 10^{-7} (mikroskopy optyczne) do 10^{-20} (zderzacze cząstek) w ciągu stulecia czy dwóch, niełatwo więc określić, co wynajdą w przyszłości naukowcy, by dać nam jeszcze ostrzejsze obrazy rzeczywistości. Gdybyśmy jednak dokonali ekstrapolacji i wyszli od techniki zastosowanej w zderzaczach cząstek, to obserwowanie materii w skali odpowiadającej długości Plancka wymagałoby akceleratorów o 10^{15} razy większej energii niż te, które mamy obecnie. Niestety, takie akceleratory musiałyby być 10^{15} razy większe, co kosztowałoby 10^{15} razy więcej, czyli jakieś 10^{15} razy więcej niż nas stać.

A zatem nie mamy solidnego dowodu, że na poziomie najmniejszych odległości wszechświata istnieje pikselizacja, ale mechanika kwantowa i uniwersalne stałe, które dotychczas zmierzyliśmy, zdecydowanie wskazują na to, że jednak istnieje i że jest superhipermaluteńka.

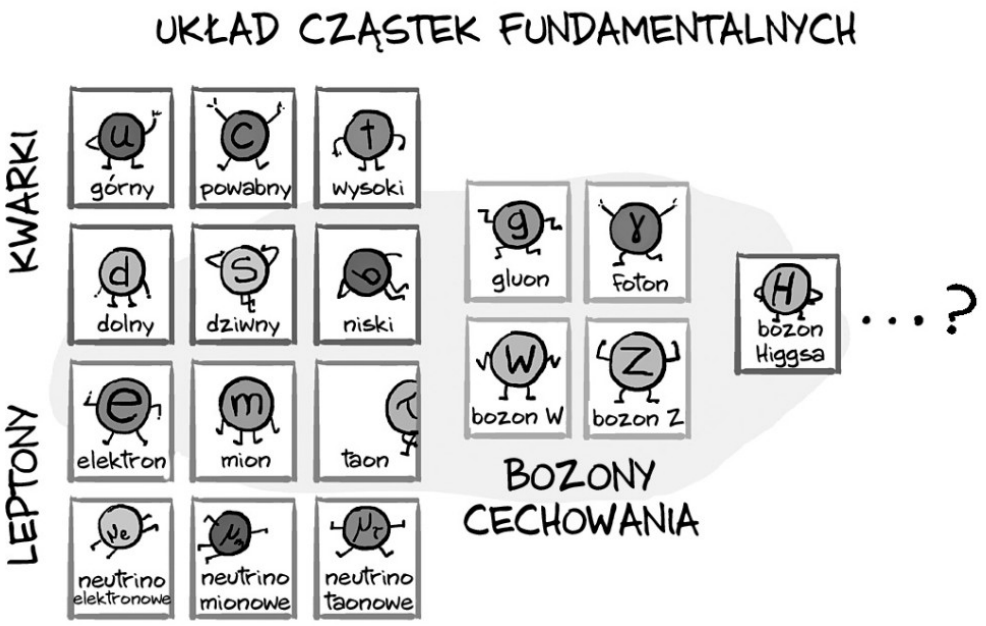
Najmniejsze cząstki

Czy elektron, kwarki i inne „fundamentalne” cząstki, które odkryliśmy, są najbardziej fundamentalnymi cząstkami we wszechświecie? Przypuszczalnie nie.

Wydaje się całkiem prawdopodobne, że elektron, kwarki i wszyscy ich kuzyni są w rzeczywistości jedynie emergentnymi zjawiskami… czegoś. Może są zbudowane z jakichś mniejszych, bardziej fundamentalnych cząstek.



Sądzimy tak dlatego, że wszystkie cząstki, które odkryliśmy dotychczas, wydają się doskonale pasować do czegoś, co bardzo przypomina układ okresowy. Być może przypominasz sobie z rozdziału 4, że najmniejsze cząstki, jakie dotychczas odkryliśmy, można ułożyć w tabeli, która wygląda tak:

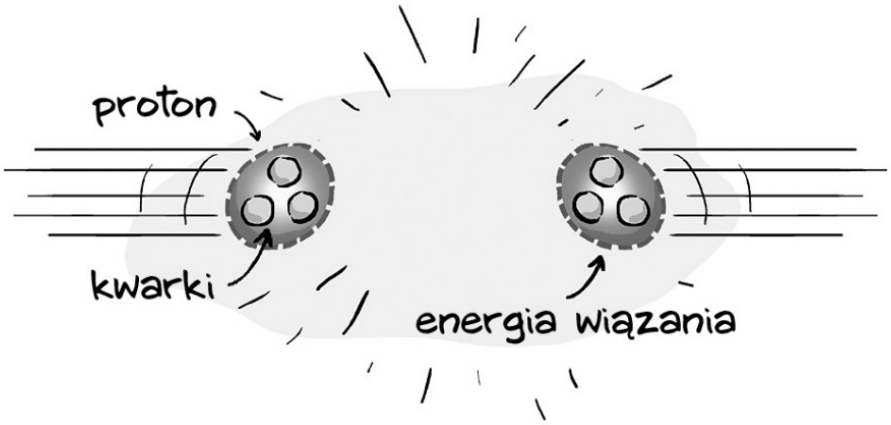


Ten regularny układ oraz prawidłowości, na które wydaje się wskazywać, mówią nam, że może tu chodzić o coś więcej. Pamiętaj, że pierwotny układ okresowy pierwiastków (ten z tlenem, węglem itd.) dał naukowcom wskazówki, które doprowadziły ich do tego, że wszystkie pierwiastki są różnymi konfiguracjami elektronów, protonów i neutronów. Podobnie na podstawie powyższego układu cząstek elementarnych fizycy podejrzewają, że cząstki, które odkryliśmy, mogą składać się z jeszcze mniejszych cząstek albo że mogą być połączeniem pewnego rodzaju mniejszych cząstek i jakiegoś jak dotąd jeszcze nieustalonego prawa czy zasady, które tworzą najróżniejsze ich odmiany. W każdym razie mamy takie wskazówki.

Skąd się dowiemy, co jest wewnątrz elektronów i kwarków? Musimy dalej roztrzaskiwać wszystko dokoła.

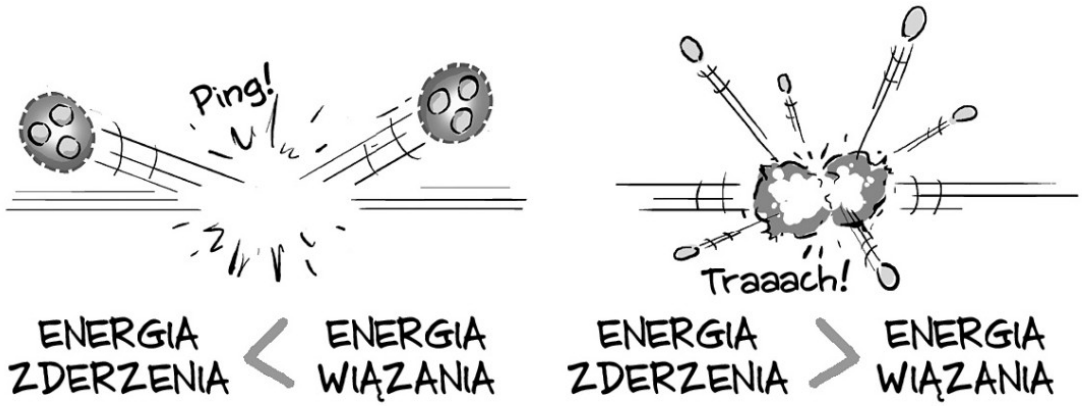
Jeśli jakaś cząstka jest w rzeczywistości cząstką złożoną (z mniejszych cząstek), to te mniejsze cząstki musi utrzymywać razem jakiegoś rodzaju wiązanie o pewnej energii. Na przykład atom wodoru to w rzeczywistości proton i elektron połączone istniejącym między nimi przyciąganiem

elektromagnetycznym. Podobnie proton, który tak naprawdę składa się z trzech kwarków połączonych występującym między nimi oddziaływaniem silnym.



Jeśli jakąś złożoną cząstkę uderzysz z energią mniejszą niż energia wiązania między jej mniejszymi cząstkami, to zapewne wyda ci się solidna. Gdyby na przykład pawian bardzo delikatnie rzucił piłką baseballową w twój samochód, zobaczyłbyś, jak piłka odbija się od auta, a ty i pawian moglibyście wyciągnąć wniosek, że twój samochód to gigantyczna pojedyncza cząstka. Ale gdyby pawian rzucił piłką do baseballu naprawdę mocno i energia piłki byłaby wyższa niż energia spajająca pewne elementy samochodu, piłka mogłaby utrącić jakąś jego część, a ty dowiedziałbyś się, że twój wóz składa się z mniejszych komponentów, no i że pewnie został wyprodukowany w Ameryce.

Jednym ze sposobów na ustalenie, czy elektrony i kwarki składają się z mniejszych cząstek, jest zatem podejmowanie z coraz większą energią prób ich rozbicia. Gdybyśmy osiągnęli poziom energii wyższy od tego, który być może spaja elektron albo kwark, wówczas ta cząstka by się rozpadła i przekonalibyśmy się, że składa się z czegoś mniejszego.



Ale tak naprawdę nie wiemy, czy elektrony i kwarki składają się z mniejszych kawałków, i nie mamy pojęcia, jakiej energii potrzeba do ich rozbicia na te mniejsze kawałki, o ile faktycznie się z nich składają. Jak dotąd nasze zderzacze, nawet ten najdroższy w Genewie, nie osiągnęły energii na tyle wysokiej, byśmy odkryli jakiekolwiek mniejsze elementy elektronu, kwarków czy ich kuzynów.

Innym sposobem, w jaki moglibyśmy rozgryźć prawidłowości w układzie okresowym cząstek fundamentalnych, byłoby odkrycie nowych cząstek, które pasowałyby do tego układu. Jeśli znajdziemy więcej kuzynów elektronów i kwarków, być może będziemy w stanie wydedukować, co oznaczają prawidłowości w układzie, co z kolei mogłoby nam podsunąć wskazówki dotyczące ich podstawowej struktury. Ta podstawowa struktura mogłaby nam podpowiedzieć, czy istnieją mniejsze kawałki ukryte wewnątrz obecnego zestawu cząstek.

Oddziaływania najbardziej podstawowe

Ostatnim elementem tworzenia teorii wszystkiego jest opis oddziaływań podstawowych.

Wiemy, że istnieje kilka różnych sposobów oddziaływania cząstek materialnych ze sobą nawzajem, ale ile jest tych oddziaływań? Czy to możliwe, że wszystkie one są częścią tego samego zjawiska?

W poszukiwaniu najbardziej fundamentalnego opisu oddziaływań we wszechświecie nie chodzi o wielkość (tzn. o znalezienie „najmniejszego” oddziaływania, jakie istnieje); chodzi o to, aby dowiedzieć się, które ze znanych nam oddziaływań są w rzeczywistości częścią czegoś jednego.

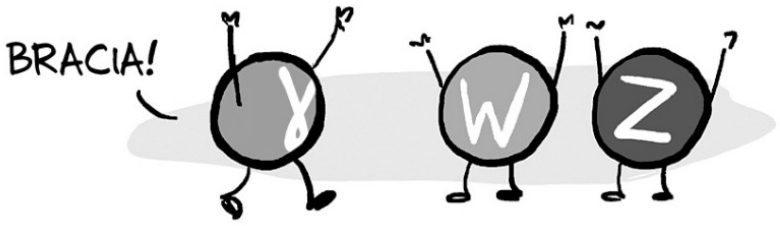
Gdybyś na przykład poprosił naszych prehistorycznych jaskiniowych naukowców Uka i Grug, by wymienili wszystkie oddziaływania we wszechświecie, pewnie przedstawiliby poniższą listę:

Ta lista mogłaby obejmować wiele więcej pozornie niepowiązanych ze sobą doświadczeń. Z upływem lat naukowcy zaczęli rozumieć, że wiele tych sił i oddziaływań faktycznie jakoś się ze sobą wiąże; szereg z nich można opisać przy użyciu tego samego ograniczonego zbioru. Wiemy na przykład, że siła, pod wpływem której spadamy z lamy, to ta sama siła, która sprawia, że ta świecąca kula na niebie (Słońce) wydaje się poruszać: to grawitacja. I wiemy na przykład, że oddziaływania między przedmiotami (wiatrem, kijami, mastodontami), które się ze sobą stykają lub się nawzajem pchają, są w rzeczywistości jednym oddziaływaniem: oddziaływaniem elektromagnetycznym między atomami, które się do siebie zbliżają.

W rzeczywistości sam pomysł, że oddziaływania elektryczne i magnetyczne są tak naprawdę jednym oddziaływaniem (elektromagnetyzmem), pojawił się stosunkowo niedawno – w XIX wieku. James Maxwell zauważył, że prąd elektryczny wytwarza pola magnetyczne, a jeśli porusza się magnesy, można wywołać prąd elektryczny. Wobec tego spisał wszystkie znane równania dotyczące elektryczności i magnetyzmu

(prawo Ampère’a, prawo Faradaya, prawo Gaussa) i zdał sobie sprawę, że zachodzi między nimi idealna symetria oraz że można je napisać na nowo w taki sposób, by elektryczność i magnetyzm potraktować jako jedno pojęcie. To nie dwie odrębne rzeczy; to po prostu dwie strony tej samej monety.

W bliższych nam czasach to samo spotkało oddziaływania słabe i elektromagnetyczne. Ustalono, że te dwa bardzo różne oddziaływania również są dwiema stronami tej samej monety: można je opisać po prostu jako jedno oddziaływanie (kreatywnie nazwane oddziaływaniem „elektrosłabym”) o podobnego rodzaju matematycznej konstrukcji. Foton, który wszyscy znamy i kochamy, to tak naprawdę tylko jeden element pewnego głębszego oddziaływania, w którym pojawiają się także bozon W i bozon Z, przenoszące oddziaływanie słabe.



Pomalutku dokonaliśmy postępu: ograniczyliśmy sporządzoną przez Uka i Grug długą listę oddziaływań we wszechświecie do czterech pozycji, a obecnie nawet do trzech.

Jak bardzo jeszcze możemy ograniczyć liczbę oddziaływań? Czy to możliwe, by wszystkie te oddziaływania były w rzeczywistości częścią tej samej siły?

Czy we wszechświecie istnieje tylko jedno oddziaływanie? Nie mamy pojęcia.

Jak daleko nam do teorii wszystkiego?

Teoria wszystkiego musi opisywać wszystko, co istnieje we wszechświecie, w najprostszy, najbardziej fundamentalny sposób. To zaś oznacza, że musi stosować się do najmniejszych odległości we wszechświecie (jeśli takie kosmiczne piksele istnieją); musi zawierać katalog najmniejszych istniejących klocków Lego; i musi opisywać wszelkie możliwe oddziaływania między tymi klockami w najbardziej jak to tylko możliwe ujednolicony sposób.

Jak dotąd mamy trochę wskazówek i pomysłów, jaka mogłaby być najmniejsza odległość we wszechświecie (długość Plancka). Mamy całkiem niezły katalog dwunastu cząstek materii, których jak dotąd nie byliśmy w stanie rozbić na mniejsze (model standardowy). I mamy listę trzech

możliwych sposobów, w jakie te cząstki mogą ze sobą oddziaływać (oddziaływania elektrosłabe i silne oraz grawitacja).

Jak daleko nam do ostatecznej teorii wszystkiego? Nie mamy pojęcia. Ale nic nie jest w stanie nas powstrzymać od szalonych spekulacji.

Gdyby podążać za dotychczasową tendencją, to najprostszy opis materii, oddziaływań i przestrzeni we wszechświecie zawierałby przypuszczalnie jedną cząstkę oraz jedno oddziaływanie i albo określałby minimalną rozdzielczość przestrzeni, albo potwierdzałby, że takiej minimalnej rozdzielczości nie ma.

Na podstawie tej jednej teorii powinniśmy być w stanie prześledzić wszystko we wszechświecie (obiekty, zachowania, pawiany) przez wszystkie warstwy emergentnych zjawisk i wyjaśnić wszystko za pomocą ruchów lub zachowań tej jednej cząstki i jednego oddziaływania.

A zatem wydaje się, że przed nami jeszcze długa droga. I nie zapominajmy: wszystkie teorie, które opracowaliśmy dotychczas, dotyczą tylko 5 procent wszechświata! Wciąż nie mamy pojęcia, jak rozszerzyć to,

co wiemy, na pozostałe 95 procent. Właściwie z teorii w-s-z-y-s-t-k-i-e-g-o mamy dopiero połowę *w* (czyli w zasadzie *v*).

Połączenie grawitacji i mechaniki kwantowej

Jedną z głównych przeszkód utrudniających znalezienie teorii wszystkiego jest kłopot z połączeniem grawitacji i mechaniki kwantowej. Pomówmy o tym.

Obecnie mamy dwie teorie (a raczej ramy teoretyczne) rozumienia wszechświata: mechanikę kwantową i ogólną teorię względności. Według mechaniki kwantowej wszystko we wszechświecie, nawet oddziaływania, to cząstki kwantowe[2]. Cząstki kwantowe są maleńkimi zakłóceniami rzeczywistości, które mają właściwości o naturze falowej powodujące ich nieodłączną nieoznaczoność. Te zakłócenia przemieszczają się w ustalonym wszechświecie, a kiedy ze sobą oddziałują (gdy jedno popycha lub pociąga drugie), wymieniają między sobą innego typu cząstki o naturze falowej. Istnieją kwantowe teorie oddziaływania silnego i oddziaływania elektrosłabego, nie ma natomiast kwantowej teorii grawitacji.

Natomiast ogólna teoria względności to teoria klasyczna, co znaczy, że została wymyślona przed mechaniką kwantową. Nie zakłada ona, że świat jest skwantowany ani nawet że skwantowane są materia i informacja. Ale jedna rzecz, w której ogólna teoria względności faktycznie jest bardzo dobra, to przedstawienie grawitacji. W ogólnej teorii względności grawitacja nie jest oddziaływaniem, którego doznają dwa obiekty obdarzone masą, lecz zakrzywieniem przestrzeni. Kiedy coś ma masę, zniekształca przestrzeń i czas wokół siebie w taki sposób, że powoduje przyciąganie wszystkiego w pobliżu ku temu obiektowi.

Mamy zatem świetną teorię cząstek, obejmującą większość oddziaływań podstawowych (mechanikę kwantową), i mamy świetną teorię grawitacji (ogólną teorię względności), która jest kolejnym oddziaływaniem podstawowym. Jest tylko jeden problem: te dwie teorie są ze sobą niemal całkowicie niezgodne.

Byłoby wspaniale, gdyby udało się nam jakimś sposobem je połączyć, ponieważ mielibyśmy wtedy wspólną strukturę teoretyczną, w ramach której moglibyśmy opracować teorię wszystkiego. Niestety jeszcze się to nie stało, i to wcale nie dlatego, że się nie staramy.

Kiedy fizycy próbują łączyć mechanikę kwantową z ogólną teorią względności, pojawiają się dwa wielkie problemy. Pierwszym jest to, że jak się wydaje, mechanika kwantowa sprawdza się tylko w płaskiej, nudnej, niezakrzywionej przestrzeni. Jeśli próbuje się zastosować mechanikę kwantową do grawitacji w zagiętej, zakrzywionej przestrzeni, zaczynają się dziać dziwne rzeczy.

Bo musisz wiedzieć, że aby mechanika kwantowa w ogóle się sprawdzała, fizycy muszą stosować specjalną matematyczną sztuczkę zwaną renormalizacją. To coś, co pozwala mechanice kwantowej radzić sobie z dziwnymi nieskończonościami, na przykład nieskończoną gęstością ładunku elektronu jako cząstki punktowej albo z nieskończoną liczbą bardzo niskoenergetycznych fotonów, które elektron może

wypromieniowywać. Dzięki zastosowaniu renormalizacji fizycy mogą zamieść te wszystkie nieskończoności pod dywan i udawać, że nie ma tam ukrytych żadnych zwłok.

Niestety zastosowanie renormalizacji do teorii grawitacji kwantowej w zakrzywionej przestrzeni nie udaje się. Gdy tylko uda nam się pozbyć jednej nieskończoności, momentalnie pojawia się nowa. Bez względu na to, jak wiele z nich próbujemy poukrywać, wydaje się, że liczba nieskończoności jest nieskończona. Znaczy to, że wszystkie powstałe dotychczas teorie grawitacji kwantowej dokonują zwariowanych przewidywań dotyczących nieskończoności, a to znaczy, że nie sposób ich sprawdzić. Na ile to rozumiemy, dzieje się tak dlatego, że grawitacja przejawia coś w rodzaju efektu sprzężenia zwrotnego. Im bardziej zakrzywia się ta przestrzeń, tym więcej jest w niej grawitacji i tym bardziej te masy są przyciągane. Najwyraźniej w grawitacji występuje zatem nieliniowy efekt sprzężenia zwrotnego, którego nie ma w kwantowych opisach oddziaływań elektrosłabych i silnych.

Drugi problem wiążący się z próbami zintegrowania ogólnej teorii względności z mechaniką kwantową polega na tym, że obie te teorie w zupełnie inny sposób traktują oddziaływanie grawitacyjne. Gdybyśmy

mieli włączyć grawitację we wspólne ramy teoretyczne, traktując ją jako oddziaływanie mechaniki kwantowej, wówczas musiałaby istnieć przenosząca grawitację cząstka kwantowa, a takiej cząstki nikt nigdy nie widział. Formalnie rzecz biorąc, jeszcze do niedawna nie mieliśmy możliwości technicznych pozwalających na wykrycie takiej cząstki (pamiętasz grawiton z rozdziału 6?), ale nawet teraz jak dotąd jej nie znaleziono.

Zatem nasze dwie teorie na temat funkcjonowania wszechświata trudno połączyć, nie wiemy nawet, czy to w ogóle możliwe. Nie mamy pojęcia, jak miałby „wyglądać” grawiton, a wszelkie przewidywania, których dokonuje połączona teoria grawitacji kwantowej, skręcają ku nieskończoności, co nie ma najmniejszego sensu.

Albo nie mamy właściwej matematyki, by połączyć te dwie teorie, albo robimy to w niewłaściwy sposób. Albo jedno, albo drugie – albo i jedno, i drugie! Potrafimy dokonywać obliczeń dotyczących oddziaływań w mechanice kwantowej, ale nie wiemy, jak jej użyć do obliczania zakrzywienia przestrzeni.

Skąd będziemy wiedzieli, że to już koniec?

Wyobraźmy sobie, że pewnego dnia naukowcom uda się zbudować akcelerator cząstek o rozmiarach Układu Słonecznego (nazwiemy go RLHC: Ridiculously Large Hadron Collider, Absurdalnie Wielki Zderzacz Hadronów). I załóżmy, że dane pochodzące z tego nieprawdopodobnego zderzacza cząstek wysokoenergetycznych ujawniają jakiś fundamentalny składnik materii o długości Plancka, równej najmniejszej sensownej odległości.

Dalej: przypuśćmy, że gdy już posiądziemy ten element materii, będziemy w stanie wyjaśnić, jak ta podstawowa cząstka materii oddziałuje ze sobą i w jakie połączenia wchodzi, tworząc emergentne zjawiska w naturze w większych skalach.

Czy to by znaczyło, że nasze zadanie jest już skończone?

Już od czasów Williama Ockhama[3] naukowcy i filozofowie woleli prostsze, zwięźlejsze wyjaśnienia od dłuższych i bardziej złożonych. Przypuśćmy na przykład, że pewnego dnia wracasz do domu i czujesz z basenu zapach mokrego pawiana. Czy rozsądniej byłoby założyć, że to jakaś międzynarodowa organizacja przestępcza wpuściła ci do basenu parę kropel aromatu pawiana w ramach skomplikowanego skoku z udziałem Justina Biebera i trzech graczy zawodowej ligi koszykówki, czy też rozsądniej byłoby jednak przyjąć po prostu, że to twój własny pawian,

którego trzymasz w domu, złamał zakaz i wskoczył do basenu, żeby się ochłodzić?

Jeśli masz dwie konkurencyjne teorie i obie wyjaśniają znane ci dane, to bardziej prawdopodobne, że właściwa będzie teoria prostsza (przy założeniu, że masz pawiana). Fizykom nadzwyczaj dopisywało szczęście, kiedy upraszczali swoje teorie jedna po drugiej i gdy dostrzegali, że różne zjawiska są w rzeczywistości uzupełniającymi się stronami tej samej monety, tak jak grzmot i błyskawica.

Ale podobnie jak pytamy: „Czy istnieje najmniejsza cząstka?”, możemy zapytać: „Czy istnieje najprostsza teoria?”. Być może będziemy w stanie udowodnić, że we wszechświecie istnieje coś takiego jak najmniejsza odległość, a może i najmniejsza cząstka, ale czy będziemy mogli dowieść, że mamy już najprostszą teorię? Skąd będziemy wiedzieli, że to już właśnie ta? A jeśli będziemy przekonani, że ją mamy, po czym spotkamy rasę kosmitów, których fizycy będą mieli jeszcze prostszą teorię?

Pierwszą sprawą, którą należy wziąć pod uwagę, jest to, jak oceniamy prostotę jakiejś teorii. Czy miarą prostoty jest zwięzłość opisu samej teorii? Czy może piękno i idealna symetria jej równań? Czy może to, jak wygląda jako nadruk na T-shirt?

Ważnym kryterium jest liczba zawartych w niej liczb. Załóżmy na przykład, że odkryłeś teorię wszystkiego i w twojej formule jest pewna

liczba. Tak naprawdę nie ma znaczenia, jaką wartość ma ta liczba, ale powiedzmy, że to ważne i że jest to masa najbardziej fundamentalnej cząstki, „maleńkonu”. Załóżmy następnie, że aby stosować tę teorię (powiedzmy, do wyznaczenia, jak długo trwa spadanie z lamy), musisz znać wartość tej liczby. Oczywiście wróciłbyś w tym celu do swojego zderzacza i za jego pomocą zmierzyłbyś masę maleńkonu, którą następnie raźnie wprowadziłbyś do swojej teorii. *Voilà*, teoria gotowa, możesz spokojnie czekać w swoim poobijanym aucie, aż Norweski Komitet Noblowski ogłosi, że niebawem przyzna ci nagrodę.

Ale załóżmy jeszcze, że pojawi się jakaś inna badaczka i powie, że ona też ma teorię wszystkiego. Ale jej teoria wygląda inaczej: dokładna wartość masy maleńkonu jest już w niej znana, a teoria nie będzie poprawna, jeśli ta masa nie będzie miała tej konkretnej wartości. Autorka konkurencyjnej teorii nie musi ruszać się z miejsca, nie musi niczego mierzyć: jej równanie samo określa, jaka ta wartość powinna być. Jest w nim o jedną dowolnie ustaloną zmienną mniej niż w twoim równaniu.

Twoje równanie może się wydawać bardziej ogólne niż równanie tamtej osoby, jednak w rzeczywistości to właśnie jej równanie mówi więcej o wszechświecie. Jest tak dlatego, że jej równanie potrafi powiedzieć, dlaczego masa maleńkonu musi być taka, jaka jest (w innym wypadku teoria by się nie sprawdzała). A zatem teoria ta ma mniej parametrów, co znaczy, że jest prostsza, czyli bardziej fundamentalna. Żegnaj, Nagrodo Nobla.

Rzecz w tym, że jedynym sposobem, by się dowiedzieć, czy dotarliśmy do ostatecznej teorii wszystkiego, jest policzenie, ile dowolnie ustalonych liczb ta teoria zawiera. Im mniej tych liczb, tym bliżej środka cebuli musimy się znajdować.

Może w samym środku w ogóle nie ma żadnych liczb. Może w samym jądrze tego cebulkowego korzenia wszechświata jest tylko skomplikowana matematyka, a wszystkie liczby, o jakich wiemy (takie jak stała grawitacyjna czy długość Plancka, czy liczba wypadków nadepnięcia ci na stopę przez mastodonty), można z powodzeniem wyprowadzić za pomocą tych wzorów matematycznych.

Obecnie model standardowy ma wiele takich parametrów – dwadzieścia jeden z nich zawiera poniższa lista – a przecież nawet nie opisuje grawitacji, ciemnej materii ani ciemnej energii:

• dwanaście parametrów dla mas kwarków i leptonów

• cztery macierze określające, w jaki sposób kwarki zmieniają się w siebie nawzajem[4]

• trzy parametry określające siłę oddziaływań elektrosłabych i silnych

• dwa parametry dla teorii Higgsa
• jedna kuropatwa na gruszy (przypuszczenie).

Prawda jest taka, że nie mamy pojęcia, jak ustalić, czy jakaś teoria jest teorią ostateczną. Możliwe, że we wszechświecie nie ma żadnych dowolnie ustalonych liczb. A może są i mają jakieś wielkie znaczenie. Gdy odkryjemy teorię, która będzie wyglądała na ostateczną, i będzie w niej liczba cztery, to czy stąd wynika, że w liczbie cztery tkwi coś bardzo ważnego?

Albo może takie podstawowe liczby mogły się ustalić przypadkowo w pierwszych chwilach naszego wszechświata, a w innych kieszonkowych wszechświatach mają inne wartości. Przypomnij sobie rozdział 14, w którym omawiamy takie wieloświaty, ale pamiętaj, że większość tych pomysłów wywodzi się z podważalnych hipotez naukowych i ma zadatki na niesprawdzalne teorie filozoficzne.

Dajemy z siebie wszystko, by dojść do teorii wszystkiego

Skoro brakuje nam piętnastu rzędów wielkości do możliwości badania wszechświata z rozdzielczością długości Plancka i ciągle nie udaje nam się znaleźć zunifikowanej teorii, która potrafiłaby opisać nędzne 5 procent wszechświata, może czas spróbować alternatywnego podejścia.

Co by było, gdyby zamiast przebijać się przez kolejne warstwy cebuli zacząć od jej środka?

Obecnie jesteśmy tak daleko od środka cebuli, że bez najmniejszych obciążeń możemy swobodnie spekulować, jak wygląda tamtejsza rzeczywistość.

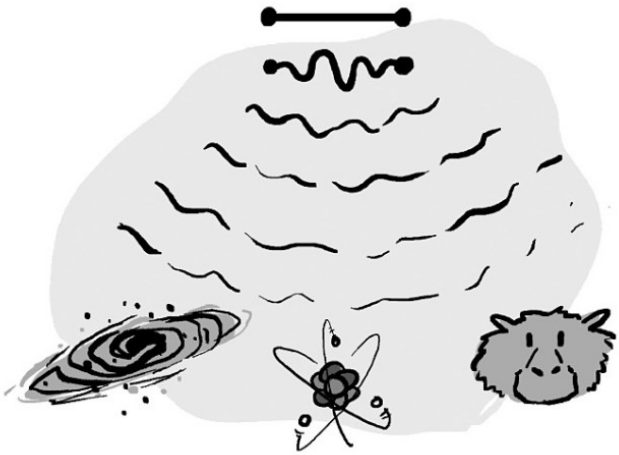
Może wszechświat składa się z jednego rodzaju maleńkich cząstek albo malutkich frankfurterek, albo miniaturowych pawianów.

Dopóki twoja hipotetyczna teoria wszystkiego potrafi ostatecznie określić cząstki i oddziaływania, które widzimy dzisiaj, dopóty, formalnie rzecz biorąc, nic takiej teorii nie przeczy. Jeśli w związku z tym masz wrażenie, że natura wszechświata to tylko ogromny intelektualny plac zabaw, na którym nie obowiązują żadne zasady, to masz rację, ale tylko jeśli jesteś filozofem albo matematykiem. Jeśli chcesz do tego podejść naukowo (słyszycie, fizycy?), to twoja teoria miniaturowych pawianów musi być czymś więcej niż wyjaśnieniem, w jaki sposób elektrony składają się z „pawianitonów”. Musi również pozwalać na jakiegoś rodzaju sprawdzalne przewidywania, tak by można ją było zweryfikować i odróżnić od teorii maleńkonów i frankfurterkonów.

Teoria strun

Zapewne najpopularniejszym i najbardziej kontrowersyjnym podejściem we współczesnej fizyce teoretycznej jest teoria strun, która sugeruje, że wszechświat ma co najmniej dziesięć albo jedenaście wymiarów czasoprzestrzeni. Wiele z tych nowych wymiarów jest dla nas niewidzialnych, ponieważ są zawinięte albo bardzo małe (zob. rozdział 9,

w którym omawiamy, dlaczego nie można tego uznać za kompletnie zmyślone bzdury), i pełne są maleńkich strun.



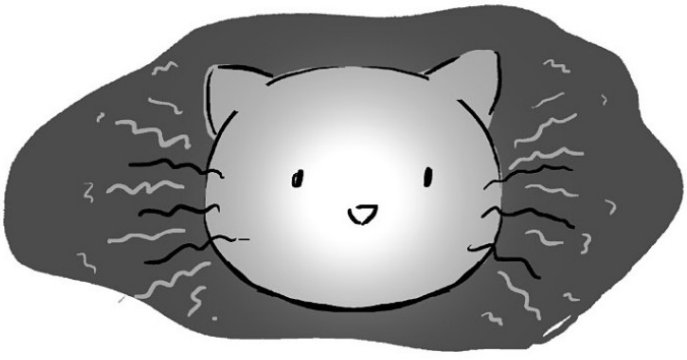
Te struny wibrują i w zależności od tego, jak wibrują, mogą wyglądać jak każda z odkrytych przez nas cząstek. Mogą nawet opisywać cząstki, których jeszcze nie widzieliśmy, takie jak grawiton. Dodatkowym plusem jest to, że podobno teoria strun jest piękna pod względem matematycznym i fascynująca pod względem teoretycznym. Teoria strun to prawdziwa teoria wszystkiego, ponieważ łączy wszystkie oddziaływania i opisuje rzeczywistość na najbardziej podstawowym poziomie. Zanim jednak zgłosisz swój akces do Kościoła Teorii Strun, powinieneś wiedzieć o paru drobiazgach. Możemy też powiedzieć: o paru sprawach. No dobrze: o paru kłopotach. No cóż, tak naprawdę chyba jednak: o sporych problemach.

Pierwszy problem jest taki, że wprawdzie teoria strun potrafi opisać cały wszechświat, ale jednak jeszcze tego nie dokonała. Jak dotąd fizycy nie znaleźli powodu, dla którego teoria strun nie może być teorią wszystkiego, ale teorii tej nadal daleko do zupełności. Wciąż opracowywane są formuły matematyczne i ciągle brakuje pewnych

elementów, a bez nich nie będzie można uznać, że jest to kompletna teoria opisowa.

W ten sposób dochodzimy do drugiego problemu: teoria strun jest nadal tylko teorią opisową i nie potrafi jeszcze dokonywać żadnych przewidywań, które moglibyśmy sprawdzać. Sam fakt, że jakaś teoria jest całkowicie spójna i atrakcyjna pod względem matematycznym, nie oznacza, że jest to uzasadniona naukowo hipoteza.

Aby ustalić, czy najmniejsze fragmenty wszechświata to malusie maleńkony czy wibrujące struny, każda teoria musi dokonywać sprawdzalnych przewidywań. Teoria strun dotyczy obiektów dopiero w skali odpowiadającej długości Plancka, dlatego też na tę chwilę nie da się jej naukowo sprawdzać. Podobnie jak w wypadku teorii Kotka z Głębin Kosmosu, równie dobrze może być prawdziwa, co nieprawdziwa, ale pokładanie w niej ufności bez doświadczalnej weryfikacji to podejście filozofii, matematyki lub wiary, ale nie fizyki.



Z pewnością jest rzeczą możliwą, że pewnego dnia w przyszłości techniki doświadczalne będą bez porównania lepsze albo że zdolni teoretycy znajdą jakąś cechę wszechświata w zakresie sprawdzalnych

odległości, która będzie wyjątkowym przewidywaniem (a zatem i testem) teorii strun. Ale na razie tak się nie stało.

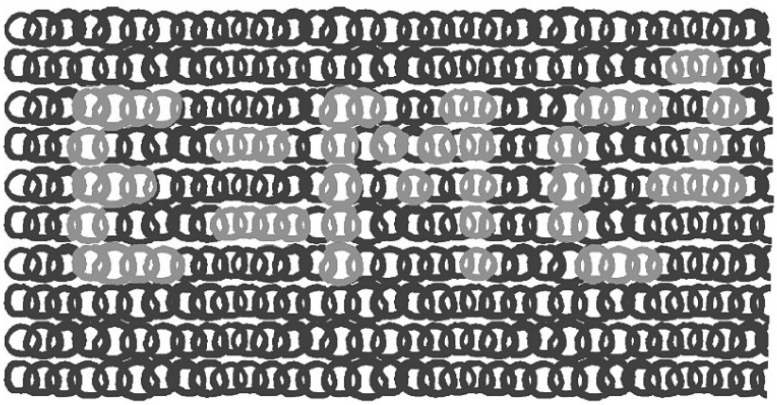
Ostatni problem z teorią strun to parametry. Dynamikę, którą przewiduje teoria strun, określają liczba i kształt wymiarów czasoprzestrzeni. A jest mnóstwo sposobów, w jakie można wybierać te wymiary. Więcej niż mnóstwo – coś koło 10^{500}, czyli 10^{410} razy więcej niż liczba cząstek we wszechświecie i 10^{497} razy więcej niż liczba twoich znajomych na Facebooku. Jest pewna nadzieja, że nowe sformułowania teorii strun zredukują liczbę dowolnie ustalonych wyborów, ale jeśli chcesz oceniać kompletność teorii na podstawie liczby jej parametrów, to ta akurat teoria ma jeszcze przed sobą długą drogę.

Można dostać kręćka

Całkowicie inne podejście to wyobrażenie sobie, że na najniższym poziomie przestrzeń jest skwantowana. Według tej teorii przestrzeń składa się z maleńkich niepodzielnych komórek zwanych pętlami, których rozmiar odpowiada długości Plancka, czyli 10^{-35} metra. Być może dzięki odpowiedniemu posplataniu ze sobą wystarczająco wielu tych pętli będzie można otrzymać wszystkie rodzaje przestrzeni i materii.

Ta teoria, zwana pętlową grawitacją kwantową, potrafi połączyć grawitację z pozostałymi oddziaływaniami i wyjaśnić naturę wszechświata aż do najmniejszych elementów. Niestety wiąże się z nią ta sama trudność co z teorią strun: wobec braku sposobu, by ją zweryfikować, nie można jej uznać za teorię w pełni naukową. Owszem, istnieje jedno konkretne wynikające z niej przewidywanie, a mianowicie, że Wielki Wybuch był częścią cyklu zwanego Wielkim Odbiciem, w ramach którego wszechświat wielokrotnie rozszerza się i kurczy. Wprawdzie niewykluczone, że teorię tę dałoby się tym sposobem potwierdzić, jednak musiałbyś czekać wiele

miliardów lat na kolejne Wielkie Odbicie, zanim mógłbyś się zgłosić po odbiór upragnionej Nagrody Nobla[5].



Zrobiliśmy dopiero kilka niepewnych kroków. Mamy nadzieję, że wykorzystując te pomysły albo inspirując się nimi (albo w wyniku szalonej sesji medytacyjnej w otoczeniu pogrążonych w zadumie pawianów), jakiś fizyk stworzy teorię wszystkiego, która będzie wszystko wyjaśniać i dokonywać sprawdzalnych przewidywań.

Czy to w ogóle by się do czegoś przydało?

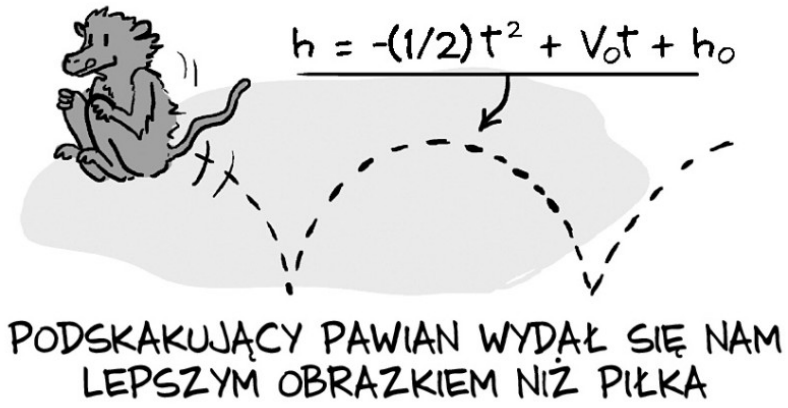
Jaki byłby pożytek z teorii wszystkiego: czy pomogłaby odpowiedzieć na pytania dotyczące zwykłych przedmiotów?

W praktyce nie bardzo.

Chociaż teoria wszystkiego ujawniłaby nam wewnętrzne funkcjonowanie wszechświata na najbardziej fundamentalnym poziomie, zapewne nie byłaby zbyt przydatna w zastosowaniach praktycznych, na

przykład w projektowaniu małpoodpornej siatki do zabezpieczenia twojego basenu.

W wizji wszechświata jako wielowarstwowej cebuli emergentnych zjawisk ciekawe jest to, że różne teorie na różnych poziomach mogą być równocześnie poprawne. Załóżmy na przykład, że chcesz opisać ruch odbijającej się piłki. Możesz go opisać przy użyciu fizyki newtonowskiej (takiej, jakiej uczyłeś się w gimnazjum) i traktować całą piłkę jako jeden obiekt przyciągany przez siłę grawitacji. W tym wypadku uzyskałbyś prosty paraboliczny wykres ruchu, który można opisać jedną linijką zapisu matematycznego.

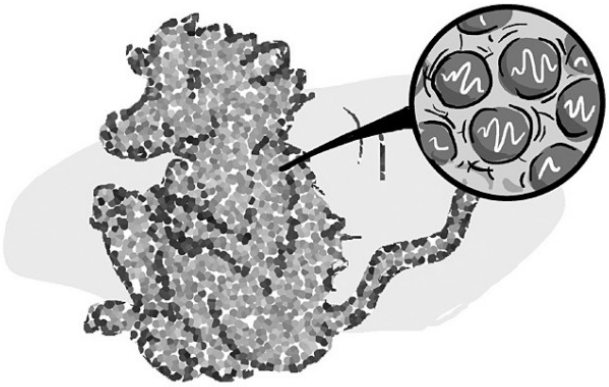


PODSKAKUJĄCY PAWIAN WYDAŁ SIĘ NAM LEPSZYM OBRAZKIEM NIŻ PIŁKA

Albo też mógłbyś opisać ruch odbijającej się piłki przy użyciu kwantowej teorii pola. Mógłbyś przedstawić model mechaniki kwantowej każdej z mniej więcej 10^{25} cząstek wewnątrz piłki i prześledzić, co dzieje się z każdą z nich, kiedy oddziałują wzajemnie na siebie i na otoczenie. Jest to całkowicie niepraktyczne, ale w zasadzie możliwe. Teoretycznie powinno dać ci to ten sam wynik co poprzednio, ale praktycznie jest to niemal niemożliwe do wykonania.

Gdybyśmy mieli poprawną teorię najniższego poziomu rzeczywistości, w zasadzie moglibyśmy z tej teorii wyprowadzić powstawanie galaktyk,

mechanikę płynów albo chemię organiczną. Jednak praktycznie byłoby to absurdalne i nie jest to dobry sposób uprawiania nauki.



To niesamowite, ale wszechświat jest zrozumiały i możliwy do opisania na wielu poziomach. Nie trzeba zaczynać od najniższego, żeby uprawiać chemię organiczną czy zrozumieć naszą obsesję na punkcie pawianów. Gdyby tak było, szalenie by to wszystko utrudniało. Nikt nie oczekuje, by surferka, chcąc wyprostować się na desce, rozumiała teorię strun i obliczała ruch 10^{30} cząstek zawartych w fali, która ją unosi. Podobnie kiedy bierzesz się do pieczenia ciasta, wolałbyś nie dostać przepisu rozbitego na kwarki i elektrony[6].

Gdyby pierwsi naukowcy musieli zaczynać od bardzo podstawowych cząstek, kiedy ludzkość dopiero raczkowała ze swoimi odkryciami, to nigdzie jeszcze byśmy w tej podróży nie dotarli.

Mamy wszystkie te teorie, a kiedy znajdziemy tę jedną teorię wszystkiego?

Poszukiwanie teorii wszystkiego to próba zrobienia czegoś, czego nigdy wcześniej w nauce nie dokonano: odkrycia najgłębszej, najbardziej podstawowej prawdy o naszym wszechświecie.

Jak dotąd wykazaliśmy, że całkiem nieźle radzimy sobie z opisywaniem w pożyteczny sposób otaczającego nas świata. Od chemii po ekonomię i psychologię małp – w wielu dziedzinach wykorzystujemy opisujące je zdobycze nauki, by podnosić poziom życia jednostek i społeczeństw, leczyć choroby i uzyskiwać coraz wyższą prędkość internetu. Z tego powodu, że te opisy nie są fundamentalne i dotyczą tylko zjawisk emergentnych, wcale nie są mniej użyteczne ani mniej skuteczne.

Tym jednak, czego brakuje tego rodzaju teoriom, jest satysfakcja z odkrycia, w jaki sposób naprawdę działa wszechświat.

A my chcemy poznać tę najgłębszą prawdę. Nie dlatego, że pomogłoby nam to rozwiązać problemy z zachowaniem naszego pawiana albo że moglibyśmy oglądać jeszcze więcej seriali na Netfliksie, tylko dlatego, że łatwiej byłoby nam zrozumieć swoje miejsce we wszechświecie.

Niestety, podobnie jak w wypadku większości ważnych pytań o wszechświat, nie mamy pojęcia, jak miałaby wyglądać teoria wszystkiego. Obecnie przypuszczamy, że najmniejsze cząstki, o których wiemy (elektrony, kwarki itd.) mogą być 10^{15} razy większe niż podstawowe klocki wszechświata. Wyobraź sobie, że masz rozmiary galaktyki i sądzisz, że gwiazda to najmniejsza rzecz we wszechświecie. Tak daleko możemy być od prawdziwej teorii wszystkiego.

Ale nadal nie udało nam się opisać wszystkich oddziaływań w kategoriach jednej teorii. Grawitacja wciąż nie chce się dopasować do mechaniki kwantowej mimo trwających od stulecia mediacji i zooterapii. Nie mamy nawet gwarancji, że teoria wszystkiego we wszechświecie w ogóle istnieje.

Ale to wszystko nie powinno nas zniechęcać do poszukiwań. Jak dotąd za każdym razem, gdy odrywaliśmy jedną warstwę rzeczywistości, za każdym razem, gdy robiliśmy krok w stronę rdzenia cebuli wszechświata – ukazywały się nowe, przedziwne struktury, które sprawiały, że zaczynaliśmy inaczej myśleć o tym, jak żyjemy.

---

[1] Długość Plancka to $(\hbar G/c^3)^{1/2} = 1{,}616 \times 10^{-35}$ m, gdzie $\hbar$ to zredukowana stała Plancka (stała Plancka h podzielona przez 2π), G to stała grawitacyjna, a c to prędkość światła.

[2] Bardziej współczesny i mający większe możliwości opis mechaniki kwantowej to kwantowa teoria pola, w której podstawowymi elementami wszechświata są istniejące wszędzie pola, a cząstki to miejsca, w których te pola doznają wzbudzeń. To jednak wykracza poza zakres tej książki.

[3] W XIV wieku William wynalazł brzytwę Ockhama, która dokonała przełomu w technice golenia i stała się zarazem symbolem – pierwszym wyrażeniem idei, że należy preferować prostsze wyjaśnienia.

[4] Ostatnie odkrycia, że neutrina mogą również zmieniać się w siebie nawzajem, oznaczają, że są jeszcze cztery dodatkowe parametry.

[5] Pośmiertnie jej nie przyznają, więc jeśli umrzesz w trakcie udowadniania swojej teorii, to klops będzie podwójny.

[6] W pobliskim supermarkecie można kupić mnóstwo kwarków i elektronów, ale są sprzedawane w postaci z góry określonego asortymentu, a nie każdy typ osobno.

17

Czy jesteśmy sami we wszechświecie?

Dlaczego nikt nas nie odwiedza?

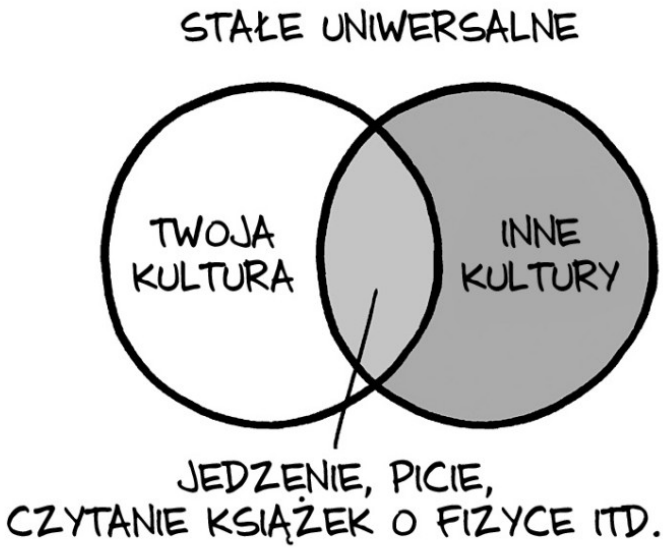
Jeśli pojedziesz za granicę, nie będziesz się mógł nadziwić, jak bardzo tamtejszy styl życia różni się od tego, który znasz.

Czy kawę robią tam dużą i wodnistą, czy maleńką i mocną jak siekiera? Czy w publicznych toaletach są kabiny z drzwiami zapewniającymi odrobinę prywatności, czy tylko z cienkimi przegrodami, które nie ukryją twojej niestrawności po podróży? Czy kiwanie głową znaczy „tak”? „Nie”? Czy może: „Chciałbym poprosić do swojego smoothie odrobinę więcej gałek ocznych i macek”? Czy jedzą tam nożem i widelcem czy rękoma, a może używają tresowanych motyli? Czy jeżdżą po lewej stronie jezdni, po prawej, czy może po obu?[1] A co ważniejsze, czy ich życie kręci się wokół zarabiania pieniędzy, poszukiwania miłości czy dokuczania krewnym?

OBCY W OBCEJ KABINIE

Z drugiej strony przekonasz się również, że wiele rzeczy przypomina to, co znasz ze swojego stylu życia: w tych odległych krajach ludzie także jedzą, śpią i rozmawiają ze sobą. Może jedząc śniadanie, widzą wpatrujące się w nich małe oczka, może piją słabą kawę, której nalewają sobie do buta, ale w sumie jedzą i piją – dokładnie tak jak ty.

Ważne jest to, że zapoznając się z innymi kulturami, możesz się dowiedzieć, które elementy twojej kultury są uniwersalne dla wszystkich ludzi, ponieważ wynikają z głębokich, fundamentalnych ludzkich potrzeb (jedzenie, spanie, kofeina itd.), a które mają charakter lokalny i są dość przypadkowe, bo choć nam mogą wydawać się czymś podstawowym (kabiny w publicznych toaletach, sztućce, macki na śniadanie itd.), tak naprawdę mogłyby być całkiem inne. Zapoznanie się z inną kulturą jest najlepszym sposobem, by się dowiedzieć, które ze spraw uznawanych przez ciebie za uniwersalne tak naprawdę mają znaczenie lokalne.



Ta sama zasada, która stosuje się do tego, co jemy na śniadanie, dotyczy także nauki. Wiele naszych błędnych wyobrażeń na temat wszechświata wynika z nieuprawnionego uogólniania naszego maleńkiego lokalnego doświadczenia. Na przykład przez całe tysiąclecia ludzie wyobrażali sobie, że znajdujemy się w centrum wszechświata albo – co gorsza – że nasz świat jest całym wszechświatem, a gwiazdy i Słońce to specjalnie dla nas stworzone dekoracje i rekwizyty. Biorąc pod uwagę nasze lokalne doświadczenie, były to całkowicie rozsądne wyobrażenia.

Może za pięć tysięcy lat, patrząc wstecz na nasze dzisiejsze poglądy, uznamy je za żenująco naiwne. Odebraliśmy już od astronomii tę trudną lekcję, że jesteśmy tylko maleńkimi ludzikami na maleńkiej drobince położonej w nie aż tak bardzo wyjątkowym zakątku wielgachnego wszechświata. Ciekawe, co jeszcze błędnie sobie wyobrażamy z powodu tego, że patrzymy na wszechświat tylko z tego jednego punktu obserwacyjnego? A gdyby tak okazało się, że wszechświat, o którym myślimy jako o uniwersalnym, tak naprawdę jest tylko lokalny? Czy da się

w ogóle dostać dobre gotowane oczka na wynos o trzeciej nad ranem gdzieś w okolicach Alfy Centauri?

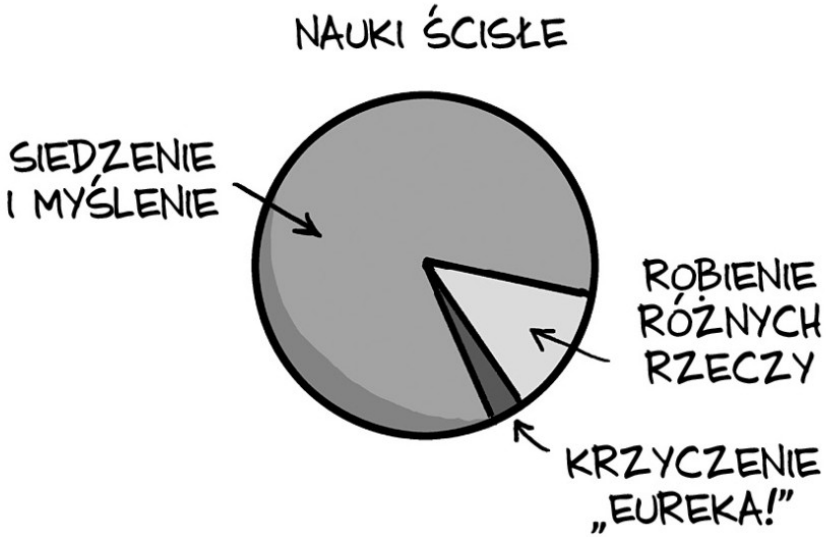
Ale może najważniejsze pytanie, jakie możemy zadać na temat uniwersalności naszego doświadczenia, to pytanie o samo życie: czy życie jest we wszechświecie czymś pospolitym czy rzadkim?

Czy wszechświat tętni życiem, czy też w całym kosmosie my stanowimy wyjątek? Na podstawie przebadania jedynie Ziemi i najbliższych jej okolic trudno wyciągać wnioski na temat tego, czy we wszechświecie jesteśmy sami. Może niczym jakieś nieznane nikomu pierwotne plemię żyjące w głębi dżungli nie mamy pojęcia o otaczającej nas ogromnej cywilizacji? A może raczej jesteśmy pojedynczą oazą życia na olbrzymiej, pustej, jałowej pustyni? Niestety obie możliwości są zgodne z naszym lokalnym doświadczeniem, wobec czego nie jesteśmy w stanie ich rozróżnić.

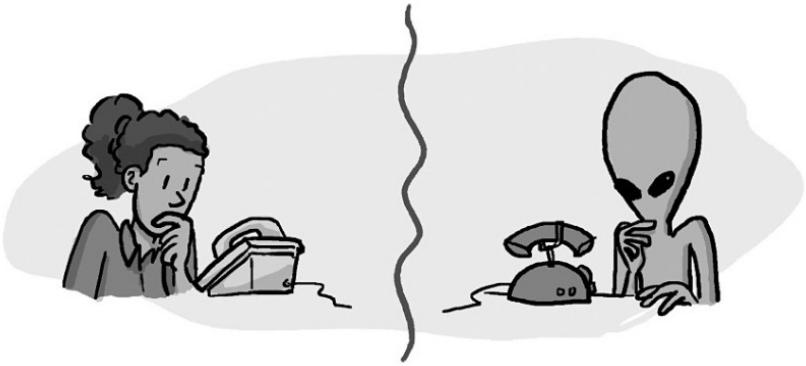
Jeśli gdzieś w kosmosie istnieje inteligentne życie – podkreślmy: jeśli – to drugie pytanie brzmi: dlaczego jeszcze nie natknęliśmy się na nie? Dlaczego nie dostajemy żadnych wiadomości, listów, zaproszeń na urodziny? Czy tylko my w całym wszechświecie nie śpimy? A może inne cywilizacje są po prostu za daleko od nas? Albo celowo nas ignorują, żebyśmy zostali kosmicznymi wyrzutkami w galaktycznej grze w dwa ognie?

Wreszcie, gdyby skontaktowali się z nami przedstawiciele jakiejś inteligentnej i rozwiniętej technicznie formy życia, to czego moglibyśmy się od nich nauczyć? Co takiego na temat świata zdołali rozgryźć, czego my jeszcze nie wiemy? My badaliśmy wszechświat, wykorzystując głównie promieniowanie elektromagnetyczne (tzn. światło), ponieważ to z niego właśnie korzystają nasze oczy. Może ci kosmici odkryli, że wszechświat jest skąpany w informacji pod jakąś inną postacią (neutrin albo jakichś cząstek, o których jeszcze nie wiemy), i mają całkowicie różny obraz tego, jak to wszystko działa. Może nawet nie mają oczu! To tylko czyste spekulacje, ale każdy z tych scenariuszy jest możliwy, a my nie mamy pojęcia, który z nich odpowiada naszemu wszechświatowi.

Nawet sam pomysł, że możemy dowiedzieć się czegoś od kosmitów, opiera się na mnóstwie założeń na temat tego, jak funkcjonuje życie obdarzone czuciem. Czy oni piszą książki, czy może po prostu przekazują sobie nawzajem informacje za pośrednictwem bezpośrednich połączeń międzymózgowych? Czy matematyka zajmuje w ich myśleniu poczesne miejsce, czy też jest to typowo ludzki wynalazek? Czy oni w ogóle uprawiają naukę? My jeszcze żenująco niedawno nauki praktycznie nie uprawialiśmy. Nawet obecnie nasza nauka to głównie po prostu popijanie kawy i sporadyczne błyski zrozumienia oraz rzadkie popołudnia, kiedy dokonuje się prawdziwy postęp.



W tym rozdziale omówimy stan naszej wiedzy i niewiedzy dotyczących niektórych najgłębszych pytań na temat samego życia: czy jesteśmy sami? Jeśli nie jesteśmy sami, to dlaczego nikt nie nawiązał z nami kontaktu? Czy my chcemy się kontaktować z nimi? Gdyby się z nami skontaktowali, czego moglibyśmy się dowiedzieć o życiu, o wszechświecie, o wszystkim? [2]



Czy oni tam są?

Jeśli jesteśmy jedynym przypadkiem życia w całym wszechświecie, to w naszym doświadczeniu i w naszej planecie jest coś bardzo, bardzo dziwnego. Gdybyśmy byli sami w takim rozległym kosmosie, znaczyłoby to, że życie jest wyjątkowo rzadkie. Jeśli wszechświat jest nieskończony, to bycie jedynym przykładem czegoś jest mniej niż rzadkie: jest praktycznie niemożliwe. W nieskończonym wszechświecie cokolwiek, co ma choćby maleńkie, różne od zera prawdopodobieństwo, wydarza się. W rzeczywistości cokolwiek, co ma skończone prawdopodobieństwo, wydarza się nieskończenie często. Jedynie rzeczy o nieskończenie małym prawdopodobieństwie wydarzają się dokładnie raz.

Z drugiej strony jeśli nie jesteśmy sami, wzmacnia to poczucie, że życie, a może nawet nasza inteligencja i cywilizacja nie świadczą o naszym wyjątkowym miejscu we wszechświecie. Znaczyłoby to, że z ludzkiego doświadczenia nie wynika wiele ważnego czy ciekawego na temat wszechświata. To jednocześnie upokarzające i fascynujące.

Jak to jest? Jesteśmy wyjątkowi czy banalni?

Problem polega na tym, że bardzo trudno jest na podstawie naszego doświadczenia z jednej planety dokonywać ekstrapolacji na płaszczyznę

bardziej ogólnego rozumienia. Są dwie możliwości i nie potrafimy ich rozróżnić: albo (1) jesteśmy jedynym przypadkiem życia we wszechświecie, albo (2) wszechświat jest pełen życia, którego nie byliśmy w stanie dostrzec – dlatego że jest za daleko bądź jest zbyt obce, by je zauważyć lub rozpoznać.

Wyobraź sobie, że chodzisz do szkoły podstawowej. I pewnego dnia na zwykłej klasówce z matematyki oprócz zestawu pytań nieoczekiwanie dostajesz arkusz odpowiedzi! Najpierw pojawia się radosne podniecenie, ale później zaczynasz się zastanawiać: czy tylko ty dostałeś ten arkusz odpowiedzi? Może to sprawdzian próbny, tylko nikt ci nie powiedział. A może koledzy też dostali ten arkusz odpowiedzi, ale nikt nie chce się przyznać. Nie masz pojęcia, czy jesteś jedynym uczniem, który miał takie szczęście, czy odpowiedzi zna każdy. Gdyby żaden z twoich kolegów nie miał tego arkusza, to nawet by nie wiedzieli, że mogą zapytać, czy ty go dostałeś. Sam fakt, że ty go masz, nie świadczy o twojej wyjątkowości. Nie da się poznać wszystkiego na temat szerszego obrazu na podstawie własnego lokalnego doświadczenia.

W wypadku życia możemy zrobić nieco więcej, ale i tak nie za wiele. Możemy na przykład rozejrzeć się po Ziemi i zająć się badaniem różnych istniejących form życia. Jeśli są pewne cechy, które znacznie się różnią u poszczególnych organizmów (np. kolor skóry, ulubiony smak lodów), to możemy być pewni, że nie są to rzeczy istotne ani fundamentalne i że życie na innych planetach może być całkowicie inne (być może na planecie Zlybroxxia cieszą się ogromnym powodzeniem lody czosnkowe). Z drugiej strony jeśli istnieją rzeczy, które są stałym elementem wszystkich form życia na Ziemi (np. konieczność dostarczania energii i wody), możemy spekulować, że być może są wspólne dla każdego życia – wszędzie. Jest to szczególnie silny argument, ponieważ możemy wykazać, że takie wspólne elementy życia rozwinęły się wielokrotnie niezależnie od siebie – na przykład gałki oczne (to nie żart!).

Pomocne może być rozdzielenie części tych zagadnień za pomocą zapisania całej kwestii jako problemu matematycznego. Gdybyś na przykład chciał oszacować liczbę ludzi w twojej okolicy, mógłbyś to zrobić, przeprowadzając drobiazgowe ankiety od drzwi do drzwi; mógłbyś też to zrobić, mnożąc po prostu liczbę domów w okolicy przez średnią liczbę ludzi mieszkających w typowym domu.

Podobnie możemy oszacować liczbę inteligentnych gatunków N, z którymi moglibyśmy się porozumiewać, za pomocą takiego oto równania matematycznego:

$$N = n_{\text{gwiazd}} \times n_{\text{planet}} \times f_{\text{do życia}} \times f_{\text{życia}} \times f_{\text{int}} \times f_{\text{cyw}} \times L$$

Gdzie poszczególne czynniki tego iloczynu to:

n_{gwiazd} – liczba gwiazd w galaktyce
n_{planet} – średnia liczba planet przypadająca na gwiazdę
$f_{\text{do życia}}$ – odsetek tych planet, które mogą nadawać się do życia
$f_{\text{życia}}$ – odsetek planet nadających się do życia, na których faktycznie rozwinęło się życie
f_{int} – odsetek planet, na których rozwinęło się życie, a jego formy są inteligentne
f_{cyw} – odsetek inteligentnych gatunków, które rozwinęły cywilizację techniczną i potrafią wysyłać w kosmos wiadomości albo statki kosmiczne
L – prawdopodobieństwo, że istnieją mniej więcej w tym samym czasie co my.

Ta matematyczna formuła (znana jako równanie Drake’a) jest bardzo prosta, ale i przydatna, ponieważ rozkłada problem na czynniki i pokazuje, że jeśli choćby jeden z tych czynników wynosi zero, to nigdy nie dowiemy się o kosmitach, nawet gdyby faktycznie istnieli.

Pamiętaj jednak, że to tylko pewna ocena oparta na naszym lokalnym doświadczeniu życia. Ostatecznie w zasadniczy sposób ogranicza nas brak turystyki międzyplanetarnej. Moglibyśmy starannie sporządzić listę najbardziej ogólnych wymogów potrzebnych do powstania życia, ale mogłoby się okazać, że dotyczą one jedynie tego życia, które znamy. Jest rzeczą całkowicie możliwą, że życie może przybierać formy, których obecnie nie potrafimy sobie wyobrazić. Obcy mogą mieć niezwykle powolny metabolizm i cykle życiowe, które nam wydałyby się niesamowicie długie. Albo mogą to być organizmy o absurdalnie wielkich rozmiarach lub o rozmytych granicach oddzielających je od otoczenia czy od innych organizmów. Dlatego pamiętaj, że być może nasze przewidywania dotyczące tego, co jest konieczne do powstania inteligentnych form życia, są całkowicie błędne, a jedynym sposobem, by się o tym przekonać, jest odnalezienie przykładów życia w innych częściach wszechświata.

Z tym zastrzeżeniem przyjrzyjmy się poszczególnym elementom powyższego równania.

Liczba gwiazd
n_{gwiazd}

Astronomowie ustalili, że w naszej Galaktyce istnieje bardzo dużo gwiazd: 100 miliardów. Zaczynanie od takiej dużej liczby jest pokrzepiające, bo cała reszta czynników równania może się okazać znikomo mała.

Ale dlaczego skupiać się tylko na naszej Galaktyce? W widzialnym wszechświecie istnieje jakiś bilion lub dwa biliony innych galaktyk. Zaczynamy od Drogi Mlecznej, ponieważ wprawdzie do gwiazd naszej Galaktyki mamy bardzo daleko, jednak inne galaktyki są odległe wręcz koszmarnie. A podróż czy komunikacja na takie odległości wydaje się prawie beznadziejna, o ile nie skorzystamy z furtek w rodzaju tuneli czasoprzestrzennych czy napędów warp. Tymczasem skupmy się na naszej galaktyce, a dodatkowy rząd wielkości dwóch bilionów innych galaktyk trzymajmy w tylnej kieszeni, żeby móc sobie poprawić wynik, jeśli okaże się, że to, co otrzymujemy, robi się zbyt zniechęcające.

Liczba planet nadających się do życia

$n_{\text{planet}} \times f_{\text{do życia}}$

Ile ze wszystkich gwiazd w naszej Galaktyce ma planety, na których może zadomowić się życie? I jakie typy planet mogą dać schronienie życiu? Czy planety skaliste, takie jak Ziemia, to jedyny taki typ, czy też istnieje wiele możliwych miejsc przyjaznych życiu?

Może na przykład istnieją formy życia, które są w stanie przetrwać w wysokich warstwach atmosfery gigantycznych zamarzniętych kul gazowych, a może też i takie, które potrafią pływać w lawie na roztopionej powierzchni małych gorących planet.

Na razie skupmy się na tym, ile jest planet podobnych do Ziemi, to znaczy raczej skalistych niż gazowych, a poza tym podobnej wielkości i otrzymujących podobną ilość energii słonecznej. Przyjęcie takich kryteriów zawęża nam horyzonty, ale jest też bardziej realistyczne, skoro Ziemia to jedyna będąca siedliskiem życia planeta, jaką znamy.

A zatem ile takich przytulnych planet jak nasza istnieje w naszej Galaktyce? Nasze teleskopy nie są dość silne, by wypatrzyć maleńkie ciemne kamienne kule, które mogą krążyć wokół odległych jasnych gwiazd. Tamte planety nie tylko znajdują się tak daleko, że są dla nas

zasadniczo niewidoczne, ale są też dużo bliżej własnych gwiazd niż nas, a to znaczy, że są kompletnie niewidoczne. Kiedy wpatrujesz się w jakiś ogromny jasny reflektor, nie masz szans zauważyć tuż obok niego malutkiego kamyczka.

Dlatego właśnie jeszcze do niedawna nie mieliśmy pojęcia, ile planet krąży wokół typowej gwiazdy i ile z nich jest podobnych do Ziemi. Jednak w ostatnim dziesięcioleciu astronomowie opracowali pewne bardzo pomysłowe metody pośredniego wykrywania planet. Poszukują mianowicie niewielkich drgnięć położenia danej gwiazdy, które wskazują na to, że nieznacznie oddziałuje na nią przyciąganie grawitacyjne jakiejś planety. Wypatrują również powtarzających się przypadków słabnięcia światła pochodzącego od gwiazdy, które oznaczają, że planeta poruszająca się po jej orbicie przechodzi między gwiazdą a nami. Przy użyciu tych i innych jeszcze metod astronomowie odkryli coś niesamowitego: mniej więcej jedna na pięć gwiazd w naszej Galaktyce ma skalistą planetę wielkością zbliżoną do Ziemi i o podobnej ilości energii słonecznej docierającej do jej

powierzchni. Znaczy to, że liczba możliwych „Ziemi” tylko w naszej Galaktyce jest rzędu miliardów. Hura! Jak dotąd to dobra wiadomość dla rodzącej się branży turystyki kosmicznej.

Liczba planet nadających się do życia, na których jest życie

$f_{\text{życia}}$

Jeśli skupimy się tylko na naszej Galaktyce, dowiemy się, że jest w niej mniej więcej 100 miliardów gwiazd z mniej więcej 20 miliardami planet podobnych do Ziemi. Dwadzieścia miliardów to całe mnóstwo szalek Petriego do tworzenia życia. A więc liczby wydają się obiecujące, ale teraz wpływamy na trudniejsze wody: na ilu nadających się do życia planetach faktycznie istnieje życie?

Na początek zastanówmy się może nad takim pytaniem: jakie są niezbędne składniki do powstania życia? Badając ogromną różnorodność życia na Ziemi, możemy wyciągnąć wniosek, że najwyraźniej zawsze potrzebna jest woda, która umożliwia mnóstwo złożonych reakcji chemicznych i transport; wydaje się również, że potrzebne jest dużo węgla,

który wchodzi w skład wielu złożonych substancji chemicznych oraz zapewnia wsparcie strukturalne, takie jak ściany komórek i kości. Na ogół potrzebne są jeszcze azot, fosfor i siarka, wykorzystywane głównie do produkcji DNA i kluczowych białek.

Czy życie, jakie znamy, może powstać bez tych elementów? Pojawiły się przypuszczenia, że zamiast węgla mógłby zostać wykorzystany krzem. To fajny przykład próby poszerzania naszych horyzontów myślowych, ponieważ jednak krzem jest dużo cięższy i ma bardziej złożoną budowę (czternaście protonów) niż węgiel (sześć protonów), przypuszczalnie nie ma go wystarczająco dużo, by pomógł utorować życiu wiele nowych ścieżek.

Trudniejsze pytanie brzmi: czy te składniki są wystarczające do powstania życia? Gdybyś znalazł gdzieś miłą, cieplutką planetę z ogromnymi oceanami, pełną tych radośnie chlupoczących i mieszających się ze sobą substancji i pierwiastków, to jakie są szanse, że zaczęłoby się tam życie? Jest to jedno z najważniejszych i najbardziej podstawowych pytań biologii, ale też jedno z tych, na które bardzo trudno odpowiedzieć. Tu, na Ziemi, wiemy, że życie zaczęło się kilkaset milionów lat po pojawieniu się na jej powierzchni wody. Niewiele jednak wiemy o szczegółach, a już na pewno nie wiemy, czy ten czas, przez który po rozmieszaniu całej tej chemicznej zupy trzeba było czekać, był nadzwyczajnie krótki czy długi.

Naukowcy próbowali powtórzyć niektóre etapy uważane za konieczne do przejścia ze sterylnej zupy do żywych organizmów. W pewnym słynnym doświadczeniu zaczęto od zmieszania tych substancji chemicznych i potraktowania ich prądem elektrycznym, co miało naśladować efekt uderzeń piorunów w pierwotną Ziemię. Nie udało się stworzyć Frankensteina, ale powstało parę złożonych cząsteczek, które są niezbędne do pojawienia się życia. Sugeruje to, że – przynajmniej w odniesieniu do niektórych etapów – być może wystarczy tylko porozrzucać poszczególne elementy składowe i poczekać na dostarczenie im właściwego zastrzyku energii przez ogrzewanie geotermiczne, uderzenia piorunów albo laserową broń obcych.

A zatem w bardzo małym stopniu rozumiemy, jak doszło do powstania życia na Ziemi ze sterylnego środowiska[3]. Gdybyśmy wiedzieli więcej, moglibyśmy wysuwać jakieś sensowne twierdzenia na temat prawdopodobieństwa pojawienia się życia w znanych nam formach na innych planetach o podobnych warunkach. Do tego czasu po prostu nie mamy pojęcia, czy takie jak u nas warunki początkowe prowadzą do powstania życia za każdym razem, czy dzieje się tak tylko raz na milion albo raz na biliard przypadków. Pamiętaj przy tym, że kto wie, czy nie mogłyby istnieć jakieś formy życia radykalnie inne od naszej, a każda miałaby własne prawdopodobieństwo powstania ze sterylnej zupy.

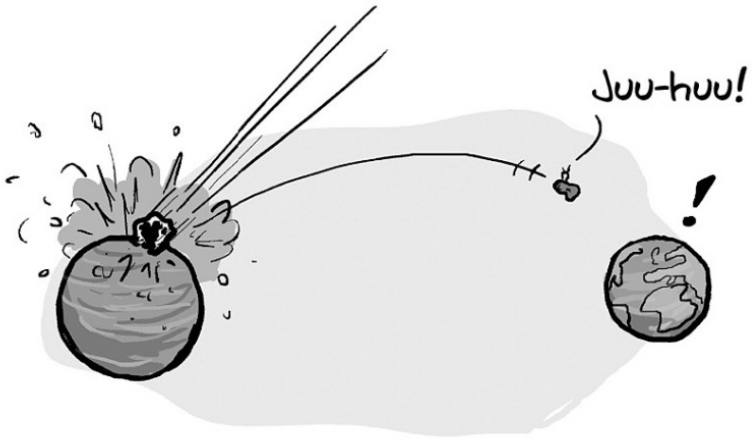
Okazuje się, że Ziemia nie jest jedynym miejscem w okolicy, w którym istnieją chemiczne składowe życia. Wiele takich składników znaleziono na Marsie (w tym także wodę w stanie ciekłym!), ale jak dotąd śladów życia tam nie uświadczono: ani jego większych, ani mniejszych form.

Są jeszcze inne miejsca w naszym Układzie Słonecznym, które być może nie znalazłyby się w pierwszej piątce twoich ulubionych kierunków wakacyjnych, ale stanowią sensowne kandydatury do tego, by zagościło tam życie. Uważa się, że księżyc Jowisza o nazwie Europa skrywa ogromny podziemny ocean, a księżyc Saturna, Tytan, ma atmosferę i oceany zawierające substancje chemiczne, z których mogłyby powstać pierwotne

formy życia. Daleko stąd jeszcze do odnalezienia tam faktycznych śladów życia, ale przynajmniej wydaje się, że składniki występują powszechnie.

My tu sobie snujemy te bezpodstawne spekulacje, ale skąd w ogóle wiadomo, że życie zaczęło się na Ziemi? Jedną z wielu nieprzekonujących możliwości, która brzmi, jakby pochodziła ze świata science fiction (choć jej prawdopodobieństwo jest niezerowe), jest to, że życie zaczęło się gdzieś indziej, a na Ziemię dotarło za pośrednictwem meteorytów.

Już widzimy, jak wykpiwasz ten pomysł. Pewnie dlatego, że wyobraziłeś sobie mikroby budujące mikrorakiety i podróżujące zylion lat, by wylądować na Ziemi. Tak naprawdę mikroby nie muszą budować sobie rakiet, by przemieszczać się między planetami lub gwiazdami. Kiedy w planetę trafia coś dużego (na przykład ogromna asteroida), to takie uderzenie może wysłać fragmenty planety daleko w kosmos. Te fragmenty przez jakiś czas przemierzają próżnię – niekiedy przez bardzo długi czas. Czasem dryfują w przestrzeni przez miliardy lat, a czasem zostają usmażone, gdy zbliżą się za bardzo do jakiejś gwiazdy. Ale od czasu do czasu spadają na inną planetę. Naukowcy znaleźli na Ziemi skały, które prawie na pewno pochodzą z Marsa i dotarły do nas dzięki takiemu właśnie mechanizmowi. A zatem jest na pewno możliwe, by skały zostały przeniesione z jednej planety na inną. Jeśli te skały zawierają akurat skryte w ich wnętrzu żywe organizmy albo maleńkie mikroby, a nawet bardzo małe zwierzęta, które potrafią przeżyć w kosmicznej próżni[4], to niewykluczone (choć wciąż nieco mało prawdopodobne), że takie mikrożycie mogłoby przeskakiwać z planety na planetę.



Jeśli tak było – a mamy na to zero dowodów – znaczyłoby to, że kosmici faktycznie istnieją: to my jesteśmy kosmitami! Tak naprawdę kiedyś naukowcy znaleźli skałę, która najprawdopodobniej pochodziła z Marsa, a nawet miała wewnątrz dziwne kształty niewyjaśnionego pochodzenia, kojarzące się z jakimiś formami życia. Te kształty bardzo z grubsza przypominały ziemskie drobnoustroje, ale wielu naukowców zachowało daleko idący sceptycyzm co do tego, że jest to dowód życia na Marsie. Dowodzi to jednak, że gdyby istniało życie na Marsie (albo gdziekolwiek indziej), to mogło złapać okazję, wybrać się na młodą Ziemie i rozsiać się na niej.

Poza możliwością snucia spekulacji, czy nasi pra-pra-pra-pradziadkowie byli istotami pozaziemskimi, ta myśl stanowi dla nas szansę. Gdyby na innych planetach istniało życie, być może moglibyśmy odkryć jego ślady, badając asteroidy. Być może wśród tych kawałków międzyplanetarnych rupieci nie ma warunków, by powstało życie, ale jeśli

zostały one wystrzelone z jakiejś odległej planety, to mogą przynieść nam z tych dalekich światów dowód istnienia tam życia.

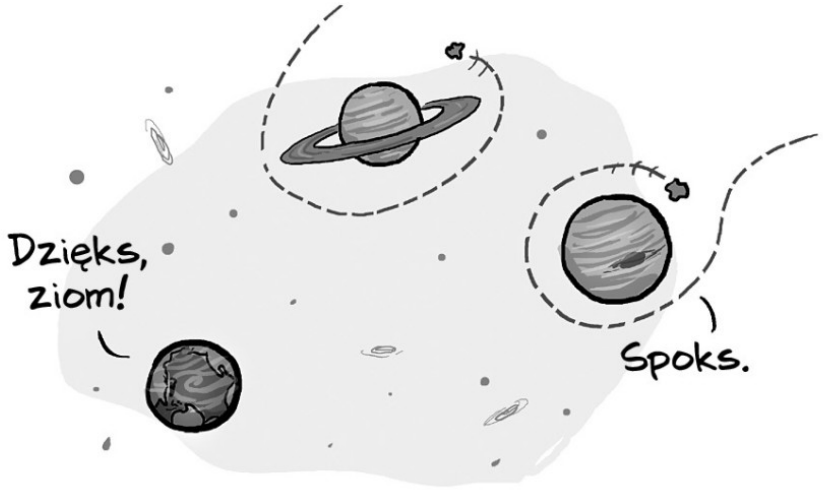
Liczba planet, na których rozwinęło się życie, a jego formy są inteligentne
$f_{\mathbf{int}}$

Kiedy już zaszczepiłeś życie mikrobów, jakie jeszcze warunki musisz spełnić dla powstania życia na tyle złożonego, by przybrało inteligentne formy?

Na pewno potrzeba dużo czasu, co oznacza, że musisz zapewnić długie okresy między wydarzeniami, które mogłyby zniszczyć delikatną pierwotną kolonię. Na Ziemi inteligentne formy życia pojawiły się w okresie od pięćdziesięciu tysięcy do miliona lat temu, w zależności od tego, co przyjmiesz za próg inteligencji (niektórzy twierdzą, że jeszcze jej nie osiągnęliśmy). To miliardy lat po powstaniu życia, więc nie jest to szybki proces.

Nakłada to pewne ograniczenia na możliwe lokalizacje pojawienia się życia. Jeśli na przykład twoja planeta znajduje się zbyt blisko centrum galaktyki, będzie ją przenikać mordercze promieniowanie z centralnej czarnej dziury i gwiazdy neutronowej. To promieniowanie może zdziesiątkować delikatną chemię życia.

Jest jeszcze inny powód, dla którego nie warto być za blisko starszych gwiazd i gęstego centrum galaktyki: wszystkie zebrane w ich pobliżu obiekty mogą na siebie wpadać albo zakłócać grawitacyjnie orbity dużych meteorów i asteroid w twoim układzie słonecznym. Kiedy któryś z nich roztrzaskałby się o powierzchnię twojej planety, spowodowałoby to wyginięcie powstałego życia. Jeśli chodzi o nasz Układ Słoneczny, to niektórzy naukowcy przypuszczają, że dzięki dwóm potężnym planetom (Saturnowi i Jowiszowi), których orbity przebiegają dalej od Słońca niż orbita Ziemi, mamy coś w rodzaju kosmicznego odkurzacza, zbierającego wiele obiektów, mogących w innym wypadku stanowić niebezpieczeństwo dla Ziemi.



Z drugiej strony nie możesz za bardzo oddalać się od centrum galaktyki, ponieważ musisz mieć wystarczająco dużo cięższych pierwiastków, by uprawiać bardziej skomplikowaną chemię. Te pierwiastki powstają jedynie w wyniku syntezy w centrach gwiazd, a potem zostają rozproszone, kiedy gwiazdy te zapadają się i eksplodują. Gwiazdy rzadziej występują na obrzeżach galaktyki, wobec tego planeta nie może być położona zbyt daleko od centrum. Ale potrzebujesz nie tylko wystarczająco dużo czasu; być może powstanie inteligentnych form życia wcale nie jest nieuchronne i wymaga szczęścia albo wyjątkowych okoliczności. Czy do inteligencji konieczne jest posiadanie sprawnych dłoni, by móc stworzyć narzędzia i zręcznie oddziaływać na otoczenie? Czy cywilizacja techniczna wymaga rozbudowanych grup społecznych, by wytworzyć język i myślenie symboliczne? Czy gdyby tamta olbrzymia asteroida nie zmiotła z powierzchni ziemi dinozaurów, inteligentne formy życia istniałyby na Ziemi dzisiaj albo kiedykolwiek później? Nie mamy pojęcia.

Krótko mówiąc, nie mamy prawie żadnych informacji na temat tego, jak często życie przekształca się w złożone formy albo rozwija inteligencję czy technikę. Wielu ludzi snuje rozważania na te tematy, niektórzy nawet wysuwają sensownie brzmiące argumenty, dlaczego życie należy uznać za

rzadkie albo pospolite. Ostatecznie jednak większość tych argumentów dokonuje ekstrapolacji na podstawie naszego lokalnego doświadczenia i cierpi na tę samą przypadłość: nie wiemy, które aspekty naszego inteligentnego życia są lokalne i nieistotne, a które powszechne i zasadnicze.

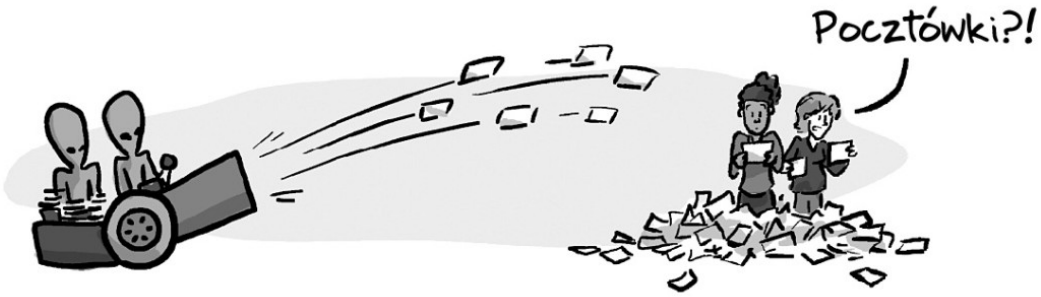
To by było zbyt łatwe, gdyby po zbadaniu konkretnych szczegółów dotyczących ziemskiej ewolucji inteligentnych form życia tworzących technikę wyciągnąć wniosek, że wszystkie te szczegóły są istotne. Część z nich na pewno jest szczególna, a może nawet niezwykle rzadka we wszechświecie. Czy to znaczy, że życie jest czymś rzadkim? Niekoniecznie. Decydujące pytanie sprowadza się do tego, czy nasze doświadczenie stanowi jedyną możliwą drogę do powstania życia, jakie znamy, jedną z wielu możliwych dróg do powstania życia, jakie znamy, czy jedną z wielu możliwych dróg do powstania życia, jakiego nigdy sobie nie wyobrażaliśmy.

Ten czynnik – f_{int} – może wynosić 1 albo 0,1, albo 0,0000000000001, albo jeszcze mniej.

Liczba cywilizacji dysponujących rozwiniętą technologią komunikacyjną
f_{cyw}

Na potrzeby bieżącej argumentacji przyjmijmy, że prześledzone dotychczas elementy tego równania ($n_{\text{gwiazd}} \times n_{\text{planet}} \times f_{\text{do życia}} \times f_{\text{życia}} \times f_{\text{int}}$) dają nam w wyniku sporą liczbę inteligentnych gatunków w naszej galaktyce. Właściwie nie ma żadnego innego powodu, by udawać, że to prawda, poza tym, że dzięki temu możemy zastanowić się nad pozostałymi elementami i uniknąć nagłego zakończenia tego rozdziału.

Gdyby w naszej galaktyce istniało inne inteligentne życie, nawet gdzieś w okolicach pobliskich gwiazd, to w jaki sposób moglibyśmy je wykryć? Badamy wszechświat głównie przy użyciu szerokiego spektrum promieniowania elektromagnetycznego (EM): fal radiowych, światła widzialnego, promieniowania rentgenowskiego itd. Wolimy korzystać z promieniowania EM, ponieważ mamy głęboko zakorzenione zamiłowanie do patrzenia – a właśnie takie promieniowanie wykorzystują nasze oczy. Ale co wykorzystują kosmici? Może wolą przesyłać wiadomości za pośrednictwem wiązek neutrin albo fal uderzeniowych ciemnej materii lub zmarszczek w samej przestrzeni. Nie mamy pojęcia, jakie mogą być ich najważniejsze narządy czuciowe (ani czy mają narządy czuciowe) i na co mogą być wrażliwe.

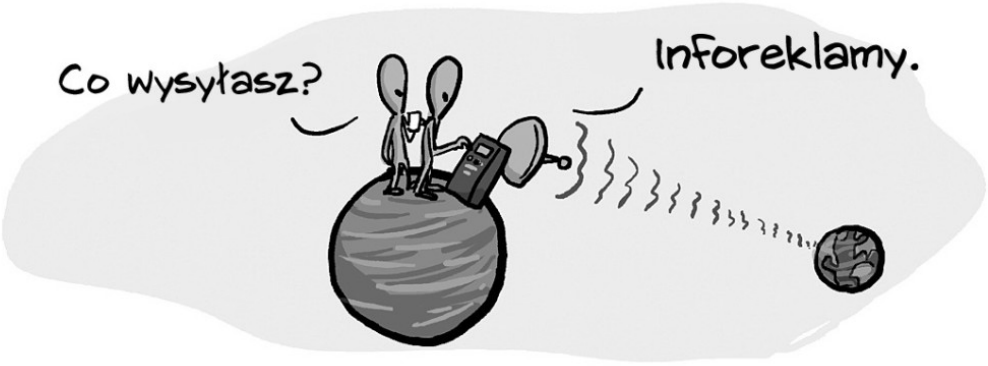


Całkowicie inna możliwość polega na tym, że obcy nie porozumiewają się za pośrednictwem promieniowania, ale za to wysyłają zautomatyzowane sondy do badania galaktyki. Jeśli sondy te mają zdolność eksploatowania asteroid i rozmnażania się, to ich liczba może wzrastać wykładniczo – mogłyby wówczas zbadać całą galaktykę w czasie mniej więcej od dziesięciu do pięćdziesięciu milionów lat. Wydaje się, że to długi okres, lecz w porównaniu z cyklem życia galaktyki jest krótki.

Ale i w tym wypadku przyjmiemy upraszczające założenie – tylko po to, by móc ciągnąć rozpoczęty wątek myślowy – że kosmici wykorzystują promieniowanie EM, i dodamy je w wyobraźni do naszej listy koniecznych zbiegów okoliczności o nieznanym prawdopodobieństwie.

Jeśli nie wysyłają nam wiadomości, tylko nadają w przestrzeń na oślep albo po prostu nieświadomie emitują w kosmos część promieniowania EM ze swoich lokalnych odpowiedników nadajników telewizyjnych i radiowych, to jest bardzo mało prawdopodobne, byśmy kiedykolwiek ich usłyszeli, chyba że bylibyśmy bardzo, bardzo blisko albo zbudowalibyśmy dużo większe teleskopy. Ich sygnał byłby zbyt słaby. Nasz najpotężniejszy radioteleskop, w Arecibo w Portoryko, potrafiłby wychwycić taki szeroko rozsyłany słaby sygnał, gdyby jego źródło znajdowało się w odległości mniej więcej jednej trzeciej roku świetlnego od nas. Tymczasem najbliższa gwiazda leży w odległości ponad dziesięciokrotnie większej. Abyśmy mogli odebrać wiadomość z jakiejś odległej gwiazdy, niemal na pewno sygnał

musiałby być wycelowany prosto w naszą okolicę w kosmosie, a nie nadawany na oślep.



Szanse, że my i oni istniejemy mniej więcej w tym samym czasie
L

Wszechświat jest nie tylko wielki, ale też zdecydowanie stary. Ponad 13 miliardów lat kosmicznej historii to wystarczająco długo, by powstały gwiazdy, by się wypaliły, zgasły i umarły, a wszystko to po kilka razy. Każdy z tych ostatnich okresów w cyklu życia gwiazdy (kiedy już powstało wystarczająco dużo ciężkich pierwiastków) jest dobrym kandydatem, by to właśnie w nim tworzyć podobne do Ziemi planety i kształtować na nich warunki przyjazne powstaniu życia. Oznacza to, że odcinek czasu, w którym mogłaby zaistnieć rasa obcych, jest niezwykle długi. Jednak żebyśmy mogli z nimi porozmawiać, musimy istnieć mniej więcej w tym samym czasie.

Jak długi jest okres przetrwania społeczeństw technologicznych? Trudno dokonywać ekstrapolacji na podstawie naszego ograniczonego doświadczenia, ale nawet ludzka historia jest pełna cykli rozwoju i upadku

cywilizacji, a ich skala to setki lat. Nasze społeczeństwo dysponuje dużo lepszymi środkami do samozniszczenia niż jakiekolwiek wcześniejsze. Czy będziemy prowadzili nasłuch kosmosu jeszcze przez pięćset, pięć tysięcy czy może pięć milionów lat? Czy będziemy jeszcze istnieć?

Jest rzeczą całkowicie możliwą, że kosmici żyli, świetnie prosperowali, wysyłali w kosmos wiadomości, a potem sami się zniszczyli jakiś milion czy miliard lat temu… albo że zrobią to w przyszłości. Żebyśmy mogli z nimi rozmawiać, kosmici muszą albo występować bardzo często, albo istnieć przez długi czas.

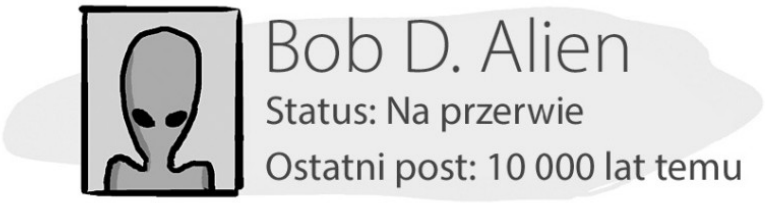
Wyobraź sobie, że chodzisz jeszcze do podstawówki, która zamiast robić wszystkim uczniom przerwy między lekcjami w tym samym czasie, każdemu uczniowi wyznacza przerwy w losowo wybranych momentach. Jakie są szanse, że będziesz miał przerwę w tym samym czasie co któryś z twoich kolegów? Albo w ogóle ktokolwiek? Gdyby twoja przerwa trwała pięć sekund, a w całej szkole byliby tylko dwaj uczniowie, to w dwa ognie musiałbyś się bawić sam. Gdyby natomiast twoja przerwa trwała pięć

godzin, a do szkoły uczęszczałoby dwadzieścia miliardów uczniów, to miałbyś świetną kondycję.

Więc gdzie oni są?

Nawet jeśli przyjmiemy optymistyczne wartości wszystkich liczb w równaniu Drake’a i założymy, że w naszej Galaktyce jest pełno długowiecznych technologicznych ras kosmitów, i tak musimy odpowiedzieć na kolejne pytania.

Czy kosmici w ogóle chcą z nami rozmawiać? Z naszej perspektywy to pytanie może wydawać się absurdalne: któż by nie chciał porozumiewać się z obcą inteligencją? Ilu rzeczy można by się tym sposobem dowiedzieć! Ale to zakłada bardzo szeroką wspólną płaszczyznę kulturalną. Nie mamy pojęcia, czego mogą chcieć ci hipotetyczni obcy. Może zdarzyło im się już nawiązać łączność z innym gatunkiem i nie poszło im wtedy za dobrze, więc robią sobie teraz dziesięć tysięcy lat przerwy w sprawdzaniu międzygwiezdnych e-maili i aktualizowaniu Spacebooka.



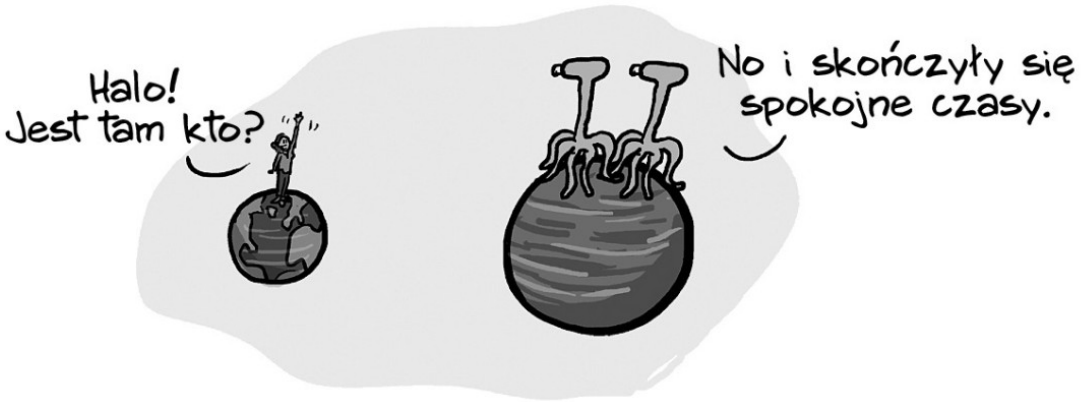
Nawet w szalenie pomyślnym scenariuszu: że obca inteligencja istnieje, wykorzystuje radio do komunikacji, znajduje się blisko i wysyła wiadomości prosto do nas – czy w ogóle moglibyśmy o tym wiedzieć? Wprawdzie nasze radioteleskopy nasłuchują sygnałów z kosmosu, ale nie wiadomo, czy potrafilibyśmy rozpoznać wiadomość kosmitów. Oczywiście

wiemy, jak wyglądałaby nasza wiadomość, ale aby sygnał wysłany nam przez obcych był przez nas rozpoznawalny, musielibyśmy mieć całą masę wspólnych intelektualnych uwarunkowań: komunikację opartą na symbolach, systemy kodowania matematycznego, podobne wyczucie czasu itd. Może być tak, że kosmici myślą zbyt szybko albo zbyt wolno, żebyśmy mogli zarejestrować ich wiadomość (no bo co począć w sytuacji, gdyby wysyłali jeden bit raz na dziesięć lat?). Istnieje możliwość, że właśnie teraz wysyłają nam wiadomości, ale my nie potrafimy ich odróżnić od zwykłego szumu.

W 1977 roku radioteleskop w Ohio wykrył jakiś dziwny sygnał. Trwał siedemdziesiąt dwie sekundy, a pochodził z kierunku gwiazdozbioru Strzelca. Był na tyle silny, a jego zróżnicowane natężenie do tego stopnia odpowiadało modulacjom, jakich można by się spodziewać po sygnale z głębin kosmosu, że naukowiec obsługujący tamtej nocy teleskop natychmiast zakreślił jego wydruk i dopisał „WOW!”. Niestety sygnału „Wow!” nigdy więcej nie usłyszano (i wcale nie dlatego, że przestano nasłuchiwać). I choć wprawdzie nie istnieje jego żadne przekonujące ziemskie wyjaśnienie, nie można go jednoznacznie interpretować jako

wiadomości pozaziemskiej. (Nie przeszkodziło to naukowcom wysłać w 2012 roku odpowiedzi – na wszelki wypadek).

Jeszcze gorsze są paranoiczne scenariusze, których nie możemy wykluczyć. Może zewsząd otaczają nas starożytne rasy kosmitów, którzy unikają kontaktu z nami, by móc obserwować nasz naturalny rozwój, jakbyśmy zamieszkiwali jakieś absurdalne kosmiczne zoo. A może istnieje wiele technologicznych ras, ale każda tylko nasłuchuje, nie nadając z nadmiernej ostrożności albo z obawy przed inwazją? A może oni już nas odwiedzili, tyle że są niewykrywalni? Ponieważ nic nie wiemy na temat hipotetycznej technologii tych hipotetycznych ras kosmitów, którzy hipotetycznie istnieją, wszystko jest możliwe.

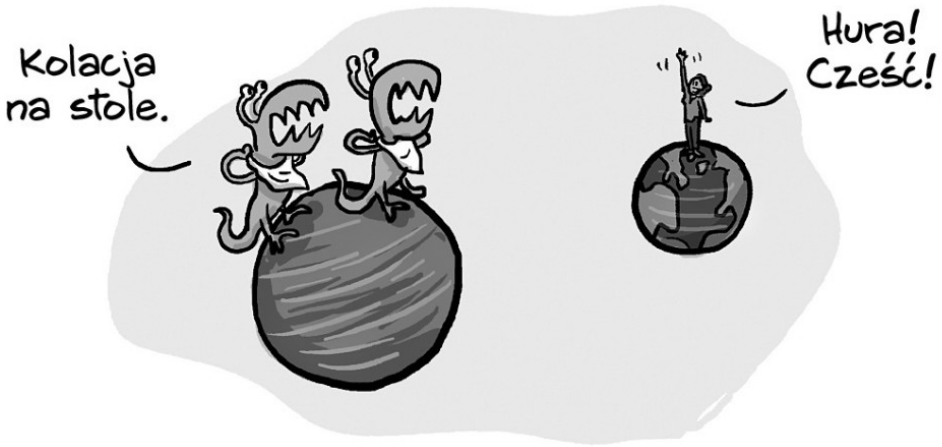


Gdzie oni wszyscy są?

Dlaczego nie znaleźliśmy jeszcze życia na innych planetach? Czy to możliwe, by wszystkie formy życia były tak rzadkie albo by mikroby były częste, ale złożone formy życia – rzadkie, albo by złożone formy życia były powszechne, ale nieczęsto pojawiały się inteligencja i cywilizacja, albo by w całej galaktyce było mnóstwo łebskich i używających iPadów kosmitów,

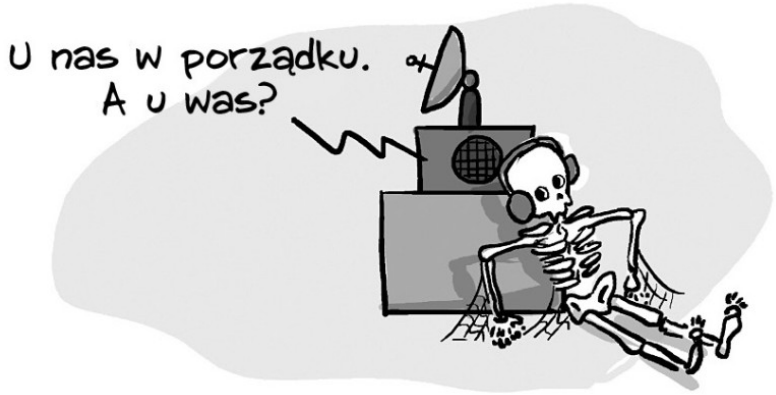
tylko że z nami nie gadają, albo by żyli i wymarli milion lat temu, albo by gadali do nas w taki sposób, którego nie rozumiemy?

Wprawdzie myśl o tym, czego moglibyśmy się nauczyć dzięki takiemu spotkaniu, jest kusząca, jednak niebezpieczeństwa związane z pierwszym kontaktem również są realne. Zastanów się, co działo się w ludzkiej historii, kiedy jakaś potężna kultura spotykała się z kulturą słabszą: rzadko kończyło się to dobrze dla bardziej prymitywnej strony. Czy w sytuacji, gdy nie dysponujemy jeszcze możliwościami odwiedzania innych planet lub gwiazd, powinniśmy rozgłaszać wokół, że tu jesteśmy, i zapraszać wszystkich z naszej galaktycznej okolicy, by wpadali i częstowali się ciastem, które zostało w lodówce (albo, co gorsza, nami)?



Może moglibyśmy się od nich uczyć fizyki?

Skoro z powodu trudności z załogowymi (dotyczy to także załóg obcych) podróżami międzygwiezdnymi faktyczny kontakt fizyczny nie wchodzi w grę, to może przynajmniej byśmy z obcymi porozmawiali?



Wyobraź sobie, jak wyglądałaby taka rozmowa. Z powodu ogromnych odległości przekazanie każdej wiadomości zajmowałoby całe lata (albo dekady, albo stulecia), a w najbardziej optymistycznym scenariuszu, zgodnie z którym ich umysły funkcjonują podobnie do naszych, musielibyśmy przekazać sobie najpierw kilka wiadomości, żeby ustalić jakiś podstawowy protokół łączności. Ogromny rozmiar wszechświata w połączeniu ze znaczącym ograniczeniem prędkości oznacza, że takie rozmowy mogłyby trwać całymi pokoleniami. Biorąc pod uwagę tempo, w jakim zmienia się nasze społeczeństwo i w jakim rozwijają się nasze poglądy naukowe, mogłoby się okazać, że zanim dostalibyśmy odpowiedzi, uznalibyśmy swoje własne pytania za głupie albo źle dobrane.

Czy jesteśmy sami?

Może pewnego dnia wpadnie ci w ręce przewodnik po innych planetach wydawnictwa Lonely Planet (aczkolwiek do tego czasu być może zdecydują się na zmianę nazwy na Lonely Galaxy) – książka, w której turyści wędrujący z plecakiem znajdą świetne rady na temat tego, co warto zabrać na imprezę z okazji Hrzxyhpod na Alfie Centauri, albo gdzie można dostać najlepsze lody na patyku o smaku macek na planecie Kepler 61b. Jak

duża byłaby ta książka? Czy miałaby wieleset stron i obejmowałaby zyliony różnych wystąpień życia, które rozwinęło się na niezliczone i dziwne sposoby w całym wszechświecie? Czy byłaby to tylko jedna jedyna kartka z opisem jedynej formy życia – tej na Ziemi?

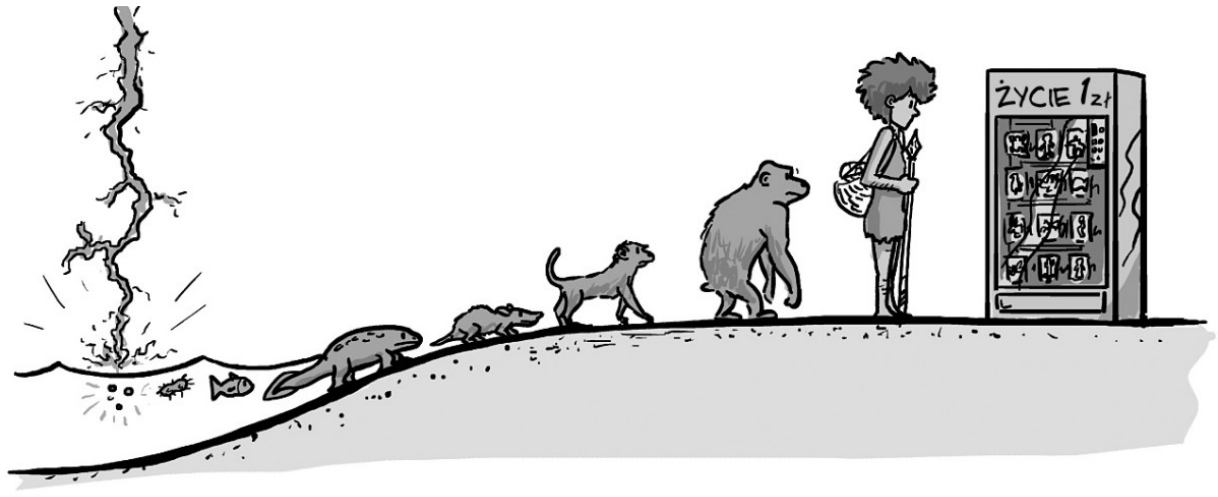
Pozostaje to jedną z największych tajemnic nauki: jak bardzo nieprawdopodobnym i niezwykłym zjawiskiem jest życie?

Z jednej strony nasz konkretny rodzaj życia wydaje się bardzo nieprawdopodobny. Pomyśl tylko o tych wszystkich szalonych zbiegach okoliczności, które musiały mieć miejsce, żebyś był tu w tej chwili i czytał tę nagradzaną książkę na temat fizyki[5]. Nasza gwiazda musiała mieć ściśle określone wielkość i temperaturę, nasza planeta musiała trafić na ściśle określoną orbitę i w cudowny sposób musiała się tu znaleźć woda – może przyleciała z głębin kosmosu pod postacią komety albo lodowych asteroid. A na tej planecie musiało powstać ściśle określone połączenie atomów i cząsteczek, aż pewnego dnia musiał uderzyć piorun i stworzyć tę pierwszą iskrę życia. Jakież to nieprawdopodobne, że iskra ta nie zgasła, tylko dała początek takiemu rozkwitowi? Jakie niesamowite przeciwności musiało pokonać życie w nieprzyjaznym skalistym pejzażu, by się rozwijać

i pewnego dnia doprowadzić do… nas? Mówiąc oględnie, zawiły mechanizm życia wydaje się zjawiskiem mało prawdopodobnym.

Skupiamy się tu jednak na naszym konkretnym typie życia. To prawda: musiał się sprzysiąc długi ciąg wydarzeń, by dać w efekcie konkretnie człowieka, ale być może gdyby któraś z powyższych okoliczności się nie wydarzyła, zamiast nas byłby tu jakiś inny gatunek, jakiś inny rodzaj życia. Argument, że życie jest czymś rzadkim, wymaga wykazania, że każdy inny ciąg wydarzeń dałby w wyniku sterylną planetę. Ponieważ jednak nie znamy wszystkich form, jakie może przybierać życie, nie jesteśmy w stanie tego dowieść.

Nie wiemy, w jaki sposób określić dokładne warunki, które prowadzą do powstania życia. A nie wiemy dlatego, że mamy tylko jedną próbę statystyczną: siebie. Jak zmierzyć prawdopodobieństwo, że uderzy piorun, jeśli widziało się go tylko raz? Może jesteśmy przeraźliwie uprzedzeni przez własne doświadczenie tego, jak życie zaczęło się na Ziemi, i może jesteśmy całkowicie ślepi na całe miliony innych sposobów, w jakie może się zacząć. Choć nasze życie mogło się zacząć jak nieprawdopodobne uderzenie pioruna, to niewykluczone, że w pozostałej części wszechświata są wygodne gniazdka elektryczne. Nie mamy pojęcia!



I pamiętaj: chociaż życie jest mało prawdopodobne, żyjemy w obłędnie wielkim wszechświecie. Jest niesamowicie rozległy, są w nim całe miliardy galaktyk, a w każdej miliardy gwiazd i planet rozsianych w niewyobrażalnych odległościach. To, czy jesteśmy sami we wszechświecie, zależy od tych dwóch czynników: czy zwariowanemu ogromowi wszechświata uda się przyćmić znikome prawdopodobieństwo pojawienia się życia? Jeśli będziesz rzucać kostkami wystarczająco dużo razy, jest szansa, że wydarzy się nawet to, co prawie niemożliwe.

Ale jedno jest pewne: prawda istnieje (wchodzi muzyka z serialu *Z archiwum X*). Albo jest (lub było, lub będzie) życie na innych planetach, albo go nie ma. Odpowiedź istnieje całkowicie niezależnie od tego, czy my tu jesteśmy albo czy zadajemy to pytanie czy nie.

Każda odpowiedź jest fantastyczna, a jedna z nich jest prawdziwa.

Dobra wiadomość jest taka, że właśnie zaczynamy sobie zdawać dokładnie sprawę, jak wielki jest wszechświat, jak jest skonstruowany i ile jest w nim planet. Po raz pierwszy w dziejach życia na tej planecie otworzyliśmy oczy i rozciągnęliśmy zakres swojej wiedzy niemal tak daleko, jak to tylko możliwe.

Może jesteśmy sami we wszechświecie i ludzie są jedynym jasnym światłem samoświadomości, jakie ten rozległy kosmos ma w sobie i jakie kiedykolwiek będzie miał.

A może we wszechświecie aż roi się od życia w każdym zakątku, a my jesteśmy tylko jednym z milionów różnych sposobów, w jakie cząsteczki mogą się układać, tak by tworzyć samopowielające się, przejawiające świadomość i zjadające gałki oczne istoty?

A może odpowiedź leży gdzieś pomiędzy? Że życie jest rzadkością, ale nie aż do tego stopnia. Może w dziejach wszechświata będzie tylko kilka

bastionów życia i nigdy ze sobą nie nawiążą kontaktu ani nigdy się o sobie nie dowiedzą z powodu olbrzymiej skali przestrzeni i czasu.

W każdym razie jednego nigdy nie wolno nam zapomnieć: życie istnieje, a dowodem na to jesteśmy my.

---

[1] Tak, tak, o was chodzi, Włosi.

[2] Poza „42”.

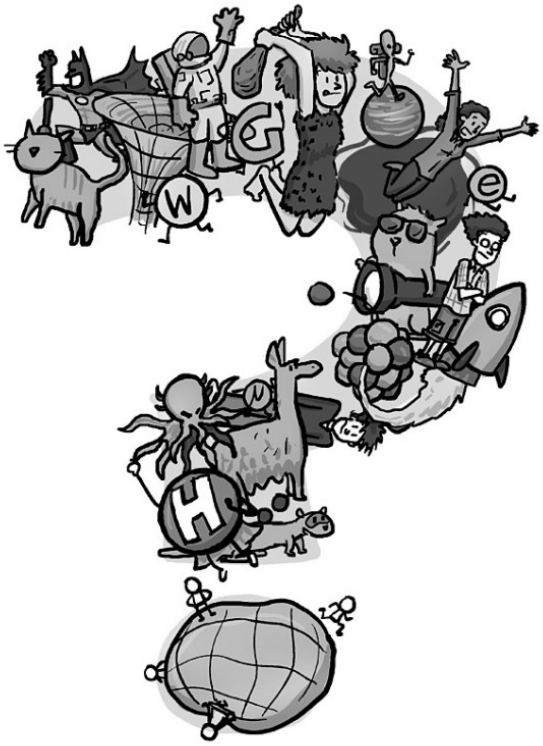
[3] Szczególnie autorzy tej książki, z których żaden nie jest biologiem. Ale do podobnej niewiedzy przyznają się nawet biolodzy (przynajmniej ci, których znamy).

[4] Wrzuć do Google’a słowo „niesporczaki” i przygotuj się na szok.

[5] Chyba przyznają jakieś nagrody książkom na temat fizyki z dowcipami o puszczaniu bąków, nie?

Coś w rodzaju zakończenia

Największa tajemnica



I tak oto dochodzimy do końca.

Jeśli kupiłeś, pożyczyłeś albo ukradłeś tę książkę, ponieważ chciałeś znaleźć w niej odpowiedzi na największe pytania we wszechświecie, to być

może niekoniecznie dobrze zrobiłeś[1]. Ta książka zajmuje się nie tyle odpowiedziami, ile pytaniami.

Z siedemnastu rozdziałów dowiedziałeś się, że wciąż mamy wiele do poznania na temat mnóstwa rzeczy. Mnóstwa całkiem poważnych rzeczy. Świadomość, że nie wiemy, z czego składa się 95 procent wszechświata, albo że kosmos pełen jest dziwactw, z których bardzo niewiele rozumiemy (antymateria, promieniowanie kosmiczne, nieprzekraczalność prędkości światła), może cię nieco przygnębiać. Każdy by się tak poczuł, gdyby się dowiedział, że właśnie w tym momencie otacza go jakaś nieznana substancja zwana ciemną materią i że przyciąga go coś zwanego ciemną energią. To wystarcza, by zacząć się odrobinę bać wychodzić z domu.

Mamy jednak nadzieję, że przyswoiłeś też sobie najważniejszą lekcję płynącą z tej książki: że to wszystko, czego nie wiemy, powinno nas fascynować. To, że nadal nie znamy tak wielu fundamentalnych prawd o wszechświecie, oznacza, że nadal czekają nas niesamowite odkrycia. Kto wie, jakich niewiarygodnych spostrzeżeń dokonamy albo jakie fantastyczne technologie wypracujemy przy okazji? Epoka ludzkich poszukiwań i odkryć bynajmniej się nie zakończyła.

Jeśli naprawdę wziąłeś sobie do serca tę lekcję, to być może jesteś już gotów, byśmy omówili ostatnią tajemnicę w tej książce. A zaczyna się ona od pytania tak ważnego i głębokiego, że wielu nazwało je ostateczną tajemnicą:

Dlaczego wszechświat istnieje i dlaczego jest taki, jaki jest?

W tym momencie niektórzy z was mogą się lekko zaniepokoić, że stawiamy to pytanie. W końcu inna wielka lekcja płynąca z tej książki to świadomość granic nauki. Wśród wszystkich pytań, jakie możesz zadać, niektóre wchodzą w zakres nauki, ponieważ odpowiedzi na nie są

sprawdzalne. Inne pytania, na które odpowiedzi nie można doświadczalnie sprawdzić, mogą być głębokie i fascynujące, ale wykraczają poza zakres nauki i należą raczej do dziedziny filozofii. Pytanie, dlaczego wszechświat istnieje, brzmi niebezpiecznie podobnie do tych, którymi zajmuje się filozofia.

Dlaczego? Ponieważ kiedy stawiasz to pytanie, tak naprawdę szukasz wyjaśnienia opartego na jakimś fundamentalnym prawie albo fakcie na temat wszechświata, które miałyby ukazać, że wszechświat musiał zaistnieć i że nie mógł przyjąć żadnego innego kształtu (a zarazem zachować spójność). Gdyby było tak, że mógł przyjąć inny kształt (albo w ogóle nie powstać), to pojawia się kolejne pytanie: dlaczego jednak wszechświat jest taki, a nie inny?

Nawet jeśli znajdujesz tego rodzaju wyjaśnienie i odkrywasz, że są fundamentalne prawa, których nie można było ustanowić w żaden inny sposób (tzn. bez żadnych dowolnie ustalonych czy przypadkowych parametrów), to i tak pojawiają się kolejne pytania:

> Dlaczego istnieją fundamentalne prawa? I dlaczego wszechświat jest z nimi zgodny?

Jak widzisz, te pytania są trudne nawet dla osób znających się na filozofii i jest rzeczą jasną, że odpowiedzi na nie mogą wykraczać poza zakres nauki.

W rzeczywistości jest możliwe, że wiele głębokich tajemnic, które wyjaśnialiśmy w tej książce, również wykracza poza zakres dochodzeń naukowych. Czy to znaczy, że nigdy nie znajdziemy odpowiedzi na te pytania? Niekoniecznie!

Sprawdzalny wszechświat

Możliwe, że istnieją pytania, na które nigdy nie znajdziemy odpowiedzi, ale istnieją też takie, które przesunęły się z filozofii do nauk ścisłych. W miarę jak poszerza się nasza zdolność zaglądania daleko w głąb wszechświata i głęboko do wnętrza cząstek, wzrasta również liczba zagadnień, które możemy sprawdzać przy użyciu nauki. Poszerza się tym samym coś, co nazywamy sprawdzalnym wszechświatem.

Może pamiętasz z wcześniejszych części tej książki pojęcie widzialnego wszechświata. Jest to ten ułamek wszechświata, który faktycznie możemy obserwować dzisiaj, ponieważ od początku wszechświata upłynęło wystarczająco dużo czasu, by światło z tego ułamka do nas dotarło.

Wszystko poza tym ułamkiem jest dla nas niewidzialne, ponieważ światło z tamtego obszaru nie było jeszcze w stanie do nas dotrzeć.

Podobnie, sprawdzalny wszechświat jest tym ułamkiem wszechświata, który możemy potwierdzać i poznawać, wykorzystując naukę. Nie obejmuje on samych tylko zewnętrznych granic naszego widzenia (czyli jak daleko w przestrzeń możemy patrzeć), ale i granice wewnętrzne (czyli najmniejsze części przestrzeni i materii, które możemy dostrzec). Obejmuje granice tego, jak precyzyjnie i jak dokładnie możemy rozróżniać rzeczy w najmniejszej i największej skali, a także dochodzi do granic naszych teorii, matematyki i zdolności rozumienia[2].

Podobnie jak wszechświat widzialny, wszechświat sprawdzalny jest przypuszczalnie (może to nawet oczywiste) dużo mniejszy niż wszechświat całkowity. To zaś oznacza, że całe mnóstwo rozmaitości wciąż znajduje się poza naszym zasięgiem. Ale w tym wszystkim jedno jest fascynujące: chociaż wciąż jest mnóstwo pytań znajdujących się poza granicami nauki, jej obszar nieprzerwanie się zwiększa.

Podobnie jak wszechświat widzialny, wszechświat sprawdzalny się rozszerza. Ilekroć uda się nam wypracować nowe techniki i narzędzia do badania rzeczywistości, sprawdzalny wszechświat rośnie. Nasza zdolność rozumienia otaczającego nas świata i odpowiadania na wszelkie wiadome niewiadome we wszechświecie rozszerza się z każdym rokiem. A zdumiewające jest to, że narastanie sprawdzalnego wszechświata przyspiesza.

Kilkaset lat temu, kiedy nauka znajdowała się w powijakach, sprawdzalny wszechświat był jeszcze całkiem mały i rósł powoli. Nasza technika i zdolność tworzenia modeli natury oraz jej rozumienia były wówczas dość ograniczone.

Następnie, niewiele więcej niż sto lat temu, kiedy postęp techniczny dał nam nowe narzędzia do badania naszego otoczenia, sprawdzalny wszechświat zaczął szybko rosnąć. Mogliśmy zadawać pytania (i na nie odpowiadać!) na temat fizyki kwantowej, tworzenia się wszechświata i natury materii – pytania, które wcześniej były domeną filozofów.

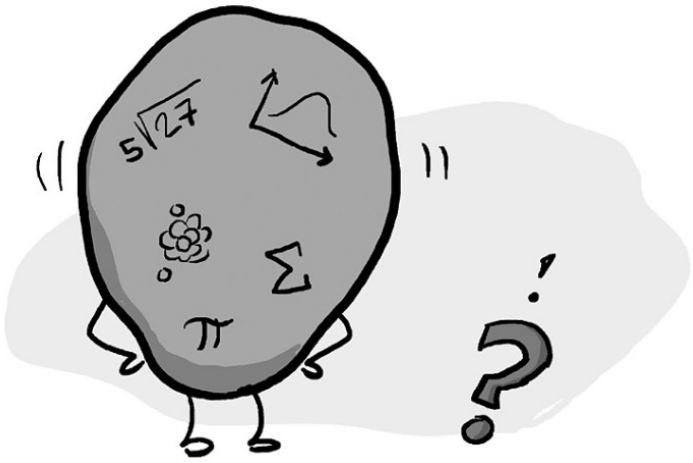
Dziś możemy powiedzieć, że sprawdzalny wszechświat przechodzi własną wersję kosmicznej inflacji: rozszerzania się w stopniu, jakiego wcześniej nie widzieliśmy. Po zaledwie mniej więcej stu latach potrafimy obecnie zajrzeć w najdalsze głębie Wielkiego Wybuchu, a może nawet po krańce kosmosu. Potrafimy snuć przypuszczenia (i potencjalnie je weryfikować) na temat tego, czy sama przestrzeń jest nieskończona, czy zakręca się jak powierzchnia ziemniaka. Potrafimy zajrzeć głęboko w strukturę protonów i przyspieszać materię do 99,999999 procenta prędkości światła. Zaczęliśmy nawet wysyłać bezzałogowe statki kosmiczne poza nasz Układ Słoneczny i lądować sondami na kometach.

Jakie ma to znaczenie dla takich pytań jak: „Dlaczego wszechświat istnieje?”, które dzisiaj wydają się nam kompletnie spoza zakresu sprawdzalnego wszechświata? Powinniśmy spojrzeć na niedawną historię i przypomnieć sobie szybką inflację naszej wiedzy – to bardzo zachęcające. Rozwijane dzisiaj i w przyszłości naukowe narzędzia oraz metody sprawią, że będziemy potrafili badać coraz więcej rzeczy, coraz więcej też pytań będzie mogło znajdować niezbite i sprawdzalne odpowiedzi.

Czy pewnego dnia będziemy w stanie odpowiedzieć na takie głębokie pytania jak pytanie o wszechświat?

Nie mamy pojęcia.

Ale na pewno będzie to ekscytująca podróż.



---

[1] Tak, wiemy, że jest odrobinę za późno na to ostrzeżenie.

[2] To ostatnie jest nieco przerażające: a jeśli wszechświat jest całkowicie zrozumiały i można go opisać za pomocą pięknej teorii matematycznej, która jednak przekracza możliwości pojmowania naszych mózgów?

Podziękowania

Jesteśmy wdzięczni za nieocenioną naukową przenikliwość i weryfikację faktów, którą wspomogli nas: James Bullock, Manoj Kaplinghat, Tim Tait, Jonathan Feng, Michael Cooper, Jeffrey Streets, Kyle Cranmer, Jahred Adelman i Flip Tanedo.

Wielkie podziękowania dla czytelników wczesnych wersji tej książki, którzy podzielili się z nami swoją opinią. Byli to: Dan Gross, Max Gross, Carla Wilson, Kim Dittmar, Aviva Whiteson, Katrine Whiteson, Silas Whiteson, Hazel Whiteson, Suelika Chial, Tony Hu oraz Winston i Cecilia Cham.

Szczególnie podziękowania kierujemy do naszej redaktorki, Courtney Young, za jej wiarę w ten projekt i za nieustanne wskazówki, oraz do Setha Fishmana, który pomógł znaleźć odpowiedni dom dla tej książki. Dziękujemy całemu zespołowi w Gernert Company, w tym Rebecce Gardner, Willowi Robertsowi, Ellen Goodson i Jackowi Gernertowi. I wielkie podziękowania dla wszystkich w wydawnictwie Riverhead Books, którzy włożyli swój czas i talenty w stworzenie i wydanie tej książki – dla Kevina Murphy’ego, Katie Freeman, Mary Stone, Jessiki Miltenberger, Helen Yentus i Lindy Korn.

Chcemy też podziękować tym wielu osobom, które od lat interesowały się naszą pracą w internecie. Jesteście dla nas zachętą, by nadal robić coś ciekawego.

Wreszcie dziękujemy wielu, wielu naukowcom, inżynierom i badaczom, którzy pracują, by poszerzać granice naszej wiedzy. Wznosimy toast za wasze pomysły!

Bibliografia

Skąd to wszystko wiecie?
I gdzie mogę się dowiedzieć jeszcze więcej?

Rozdziały 1 i 2

Podane tu wartości odsetków ciemnej materii i ciemnej energii pochodzą z pomiarów przeprowadzonych w 2013 roku przez Planck Collaboration (https://arxiv.org/abs/1303.5062). Dokonano późniejszych pomiarów, ale jakościowo nic się nie zmieniło.

Krzywe rotacji galaktyk po raz pierwszy badali Vera Rubin i Kent Ford w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych. Vera Rubin, Norbert Thonnard, W. Kent Ford Jr., „The Astrophysical Journal" 1980, t. 238, s. 471–487.

Soczewkowanie grawitacyjne to tak naprawdę dwa różne podejścia. Silne soczewkowanie pokazuje radykalne zniekształcenie pojedynczej galaktyki (np. https://arxiv.org/abs/astro-ph/9801158), a słabe soczewkowanie mierzy drobne efekty dotyczące wielu galaktyk na zasadzie statystycznej (np. https://arxiv.org/abs/astro-ph/0307212).

Zderzenie galaktyk, o którym wspominamy, to Gromada Pocisk (https://arxiv.org/abs/astro-ph/0608407). Dzięki temu zderzeniu wiemy, że ciemna materia nie oddziałuje silnie sama ze sobą (https://arxiv.org/abs/astro-ph/0309303).

Na temat przeglądu aktualnej wiedzy o ciemnej materii i poszukiwania WIMP-ów: http://arxiv.org/abs/1401.0216.

Rozdział 3

Obserwacją supernowych typu Ia zajmowały się zespoły badaczy: High-Z Supernova Search Team (https://arxiv.org/abs/astro-ph/9805201) oraz Supernova Cosmology Project (https://arxiv.org/abs/astro-ph/9812133). Nie wszystkie z tych supernowych mają taką samą szczytową jasność, ale mają charakterystyczną krzywą zmian blasku – zależność natężenia światła, jaką emitują, od czasu – którą można kalibrować (Mark M. Phillips, „The Astrophysical Journal" 1993, t. 413, nr 2, L105–108), w związku z czym te supernowe zapewniają miarę odległości.

Rozdział 4

Wiele szczegółów na temat naszego aktualnego rozumienia cząstek można znaleźć na stronie internetowej Particle Data Group: http://pdg.lbl.gov.

Rozdział 5

$N = 10^{23}$ lub w tych okolicach, kiedy energia wiązań zaczyna dorównywać energii kawałków lamy, ponieważ jest to z grubsza liczba atomów w obiekcie makroskopowym (stała Avogadra).

Do doświadczalnych obserwacji wpływu energii wiązań na masę należą procesy rozpadu promieniotwórczego – na przykład rozpad beta. Neutron

o masie 939,57 MeV rozpada się, tworząc proton o masie 938,28 MeV, elektron o masie 0,511 MeV oraz neutrino o pomijalnej masie. Masa, która znika (939,57 − [938,28 + 0,511] = 0,78 MeV), wynika z niższej energii wiązania kwarków w protonie i zostaje przetworzona w energię kinetyczną protonu, elektronu i neutrina. Przeciwnym przykładem jest cząsteczka O_2, która ma mniejszą masę niż dwa atomy tlenu, ponieważ dwa atomy przyciągają się nawzajem i powstanie cząsteczki O_2 uwalnia energię.

Ułamek 0,005 wynika z faktu, że przeciętna energia wiązania na nukleon wynosi parę MeV (zazwyczaj od jednego do dziewięciu), a masa nukleonu to prawie 1000 MeV.

Masa kwarka górnego i dolnego to <5 MeV, a masa protonu i nukleonu to około 1000 MeV, wobec tego całkowita masa kwarków wewnątrz nukleonu to jakieś 15/1000, czyli około 1 procenta.

Kwark t ma masę jakichś 170 000 MeV, a kwark górny 2,3 MeV, co daje proporcję mniej więcej 75 000:1.

Techniczny opis działania pola Higgsa oraz rozwiązania problemu mas bozonu W i bozonu Z można znaleźć na stronie: http://arxiv.org/abs/0910.5095, albo obejrzeć bardziej szczegółowo w filmiku przygotowanym przez autorów niniejszej książki: https://vimeo.com/41038445.

Rozdział 6

Istnieje kilka sposobów porównania siły grawitacji z innymi oddziaływaniami.

Przede wszystkim możemy porównać stałą sprzężenia grawitacji ($\alpha_g = Gm_e^2/(\hbar c) = 1{,}7518 \times 10^{-45}$) ze stałą sprzężenia elektromagnetyzmu (zwaną również stałą struktury subtelnej), która wynosi $1/137 = 7 \times 10^{-3}$. Proporcja jest rzędu 10^{-42}.

Jednak siła doznawana przez obiekty w wyniku oddziaływania grawitacyjnego i oddziaływania elektromagnetycznego zależy również od masy i ładunku. Jeśli na przykład porównać siłę grawitacji i elektromagnetyzmu działającą na dwa protony (ładunek = 1, masa = 1000 MeV):

$F_g = Gm_pm_p/r^2$, $F_{EM} = k_eq_pq_p/r^2$, to $F_g/F_{EM} = Gm_pm_p/(k_eq_pq_p) = Gm_p^2 / (k_eq_p^2)$= [6,674 × 10^{-11} N m^2/kg^2 (1,67 × 10^{-27} kg)^2] / [8,99 × 109 N m^2/C^2 (1,6 × 10^{-19} C)^2] = 8 × 10^{-37}, co jest zbliżone do 1 × 10^{-36}.

Fala grawitacyjna tylko odrobinę zniekształca przestrzeń. Podczas pierwszego wypadku wykrycia takiej fali przez LIGO odnotowano zniekształcenie rzędu mniej więcej 1 × 10^{-21} (rys. 1 w: https://arxiv.org/abs/1602.03837).

Rozdział 7

Przestrzeń jest płaska z dokładnością do 0,4% – zgodnie z pomiarem mikrofalowego promieniowania tła WMAP 2013 (http://map.gsfc.nasa.gov/universe/uni_shape.html) oraz badaniami dużych trójkątów (https://arxiv.org/abs/astro-ph/0004404).

Odległości 10^{-35} metra odnoszą się do skali długości Plancka: $(\hbar G/c^3)^{1/2}$ = 1,616 × 10^{-35} m.

Rozdział 8

Jeśli chodzi o dalszą lekturę na temat strzałki czasu, polecamy znakomitą książkę *Stąd do wieczności i z powrotem* autorstwa Seana Carrolla.

Rozdział 9

Strumień neutrin płynący ze Słońca to około 7×10^{10} cząstek na cm^2 na sekundę (na podstawie: Claus Grupen, *Astroparticle Physics*, Berlin–Heidelberg 2005, s. 95).

Zob. przypisy do rozdziału 6 o słabości grawitacji – jest tam omówiony czynnik 10^{-42} różniący grawitację i oddziaływanie elektromagnetyczne.

Przypis na temat mechaniki kwantowej i jej wizji czasu odnosi się do zasady nieoznaczoności, która wiąże (między innymi) nieoznaczoność energii z nieoznaczonością czasu.

Rozdział 10

Dobry przegląd teorii względności: John R. Taylor, Chris D. Zafiratos, Michael A. Dubson, *Modern Physics for Scientists and Engineers*, wyd. 2, Mill Valley, California 2015.

Prędkość światła wynosi 299 792 458 metrów na sekundę. Jest to dokładna liczba, ponieważ przy jej użyciu zdefiniowano długość jednego metra.

Granice ludzkiej wytrzymałości na przeciążenie badano na pilotach myśliwców (zob. Ulf Balldin, *Medical Aspects of Harsh Environments*, t. 2, rozdział 33, https://ke.army.mil/bordeninstitute/published_volumes/harshenv2/he2ch33.pdf).

Z przyspieszeniem rzędu 3 g (~30 m/s^2) trzeba 10 milionów sekund (jednej trzeciej roku), by osiągnąć prędkość światła, zauważ jednak, że utrzymanie tego przyspieszenia wymagałoby coraz większej energii. Najbliższa gwiazda to Proxima Centauri, położona w odległości 4,2 lat świetlnych = $4{,}0 \times 10^{16}$ m.

Rozdział 11

Omówienie promieniowania kosmicznego i mechanizmów jego wykrywania można znaleźć w książce *Extensive Air Showers* Petera Griedera.

Spowalnianie ultrawysokoenergetycznego promieniowania kosmicznego w wyniku jego oddziaływania z fotonami od początkowego okresu wszechświata nazywa się efektem GZK (Greisena-Zacepina-Kuźmina).

Zwróć uwagę, że wiele liczb podawanych w tym rozdziale jest przybliżonych, ponieważ liczbę cząstek o bardzo wysokiej energii cechują znaczne niepewności pomiarowe, jednak nie ma to wpływu na meritum sprawy.

Rozdział 12

CERN potrafi wyprodukować 10 milionów antyprotonów na minutę (zob. Niels Madsen, Cold Antihydrogen: *A New Frontier in Fundamental Physics*, „Philosophical Transactions of the Royal Society" 2010, t. 368).

Gram antymaterii plus gram materii uwolniłby 2 gramy × c^2 energii = $(2 \times 10^{-3}$ kg) $(3 \times 108$ m/s$^2)^2 = 1{,}8 \times 10^{14}$ J = 43 kiloton.

Poszukiwania galaktyk z antymaterii opisano na stronie: http://arxiv.org/abs/0808.1122.

W eksperymencie ALPHA w CERN-ie wytwarza się i bada antywodór. Zob. https://home.cern/about/experiments/alpha.

Rozdział 14

Wiek wszechświata wynosi 13,6 (13,8) miliarda lat według danych z misji Planck z 2013 (2015) roku.

Przypadkowe odkrycie mikrofalowego promieniowania tła przez Arno Penziasa i Roberta Wilsona w 1964 roku doprowadziło do przyznania im w 1978 roku Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki. Czas, w którym wszechświat stał się przejrzysty, datuje się na 380 000 lat po Wielkim Wybuchu według danych z misji Planck z 2013 roku (https://www.mpg.de/7044245).

Istnieje wiele teorii inflacji; podajemy tu przybliżone liczby, które są znamienne: 10^{25}-krotne rozszerzanie się w krótkim okresie zaczynającym się w pierwszej 10^{-30} części sekundy po Wielkim Wybuchu.

Rozdział 15

Liczba gwiazd w Drodze Mlecznej nie jest dokładnie znana. Szacunki wahają się od 100 miliardów aż do biliona (http://www.huffingtonpost.com/dr-sten-odenwald/number-of-stars-in-the-milky-way_b_4976030.html).

Liczba galaktyk w widzialnym wszechświecie również nie jest dokładnie znana. Szacunki wahają się od 100–200 miliardów (http://www.space.com/25303-how-many-galaxies-are-in-the-universe.html) aż do 2 bilionów (https://arxiv.org/abs/1607.03909).

Szacowana masa naszej supergromady jest 10^{15} razy większa od masy naszego Słońca (https://arxiv.org/abs/0706.1122).

Symulacje pokazują, że powstawanie galaktyki zależy od obecności ciemnej materii (http://arxiv.org/abs/astro-ph/0512234).

Wielkość widzialnego wszechświata szacuje się na 14,26 gigaparseków, czyli 46,5 miliarda lat świetlnych, $4{,}40 \times 10^{26}$ metrów w każdym kierunku (https://arxiv.org/abs/astro-ph/0310571).

Szacunkowa liczba cząstek we wszechświecie jest bardzo przybliżona i wynika głównie z szacunkowej liczby gwiazd oraz proporcji ciemnej

materii do normalnej materii; ponieważ masa ciemnej materii jest nieznana, jest to obciążone znaczną niepewnością. Zob. http://www.universetoday.com/36302/atoms-in-the-universe/.

Rozdział 16

Promień protonu wynosi mniej więcej 10^{-16} metra, ale sama definicja jest nieco filozoficzna.

LHC wytwarza zderzenia o energii mniej więcej 10 TeV, czyli 10^{13} eV, co odpowiadałoby długości fali fotonu rzędu 10^{-19} metra.

Rozdział 17

Szacunkowy odsetek gwiazd mających planety podobne do Ziemi pochodzi z danych uzyskanych dzięki teleskopowi kosmicznemu Keplera (http://arxiv.org/abs/1301.0842).

Baza danych The Meteoritical Bulletin obejmuje obecnie 177 skatalogowanych meteorytów o marsjańskim pochodzeniu (http://www.lpi.usra.edu/meteor/index.php).

Zalecane lektury

Max Tegmark, *Nasz matematyczny Wszechświat. W poszukiwaniu prawdziwej natury rzeczywistości*, tłum. Bogumił Bieniok, Ewa Łokas, Warszawa 2015.

Sean Carroll, *Stąd do wieczności i z powrotem. Poszukiwanie ostatecznej teorii czasu*, tłum. Tomasz Krzysztoń, Warszawa 2010.

Carlo Rovelli, *Siedem krótkich lekcji fizyki*, tłum. Urszula Buczkowska-Marchetti, Warszawa 2017.